UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale e di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di laurea Magistrale in Psicologia Cognitiva Applicata

Tesi di laurea Magistrale

Il ruolo della ripetizione all'interno delle teorie della cognizione

The role of repetition within theories of cognition

Relatore
Prof. Francesco Vespignani

Co-Relatore
Prof.ssa Giulia Calignano

Laureando: Giovanni Carli
Matricola: 1173218

Anno Accademico: 2024/2025

Indice generale

Introduzione....4
Parte prima....9
Biologia della cognizione....10
Autopoiesi. L'organizzazione del vivente....16
Autopoiesi e allopoiesi: l'Anticipatory System di Robert Rosen....19
Scienza e Coscienza....22
Sistema immunitario e cognizione....23
Sintesi e Sintassi nel Sistema Immunitario....25
Cognizione senza Neuroni....27
Cognizione come sistema capace di azione e percezione....30
Ripetizione della ripetizione: una sintesi....32
Parte seconda....33
Cognizione come azione e percezione: il cervello ha un corpo....34
Modelli computazionali....42
Ripetizione come apprendimento....46
Il principio di energia libera....48
Azione, attenzione, emozione....51
Neurofenomenologia ed esperienza cosciente....53
Épochè e riduzione fenomenologica....55
Parte terza....58
Neurodinamica cellulare e globale....59
Il paradosso del cervello riflessivo: "Not one, not two"....61
Dendrofilia, l'albero della conoscenza....64
Singolarità cognitiva, simboli e sintassi....67
Linguistica cognitiva: metafora e analogia come principio di descrizione minima. .70
Parte quarta....73
La riabilitazione motoria nell'emiplegico (ETC)....74
Ipotesi percettiva e riduzione fenomenologica nell'ETC....77
E mi immergo (1/2004)....82
La musica (2/2004)....84
Ictus, tactus (phasis)....85
Parte quinta....88
Il ruolo della ripetizione linguistica: discussione....89
Conclusioni....95
Riferimenti bibliografici....97

petizione: in filosofia, espressione della logica (derivata dalla frase di Aristotele αἰτεῖσθαι τὸ ἐν ἀρχῇ, propr. «assumere come vero ciò che è enunciato da principio») con cui si designa il sofisma consistente nel presupporre implicitamente dimostrata la stessa tesi che si pretende di dimostrare. Per estens., fuori del linguaggio filos., *affermazione o tesi posta come inconfutabile, come aprioristicamente valida*.
Treccani, *Vocabolario On Line*
https://www.treccani.it/vocabolario/petizione/

ripetizione: da Re *di nuovo* e Petere *chiedere*; muovere verso, tornare a chiedere.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=ripetere

Abstract

Il significato etimologico del termine *ripetizione* rappresenta l'indizio linguistico di partenza per una ricerca a carattere fenomenologico sulla ripetizione e le sue implicazioni cognitive. I concetti di *autopoiesi* (Maturana e Varela) ed *enaction* (Varela), consentono la ricerca e la verifica delle relazioni esistenti tra teorie biologiche e approcci cognitivi, delineando un framework teorico congruente tra biologia comparata, cognitivismo, modellazione computazionale e linguaggio naturale.
Keywords: cognizione, ripetizione, autopoiesi, fenomenologia, linguaggio.

The etymological meaning of the term *repetition* represents the cue for a phenomenological research on repetition and its cognitive implications. The concepts of *autopoiesis* (Maturana and Varela) and *enaction* (Varela), allow the research for the relationships between biological theories and cognitive approaches, outlining a theoretical framework between comparative biology, cognitivism, computational modeling and natural language.
Keywords: cognition, repetition, autopoiesis, phenomenology, language.

Introduzione

Qual'è il significato della parola *ripetizione*? È facile comprendere come l'ambito descrittivo risulti estremamente ampio e il limitarsi all'aspetto puramente linguistico conduca inevitabilmente a una eccessiva semplificazione del lemma.

L'intento di attribuzione di significato origina da un semplice quesito di partenza ovvero la comprensione del significato legato alla ripetizione di sillabe, parole, frasi nell'ambito del linguaggio naturale. Quale potrebbe essere, ad esempio, il comune denominatore esistente tra la ripetizione di uno slogan in un corteo, la dizione ripetitiva di una poesia o il ripetersi di un rituale sacro come la preghiera per una persona religiosa? L'aspetto lessicale rappresenta solamente il punto di partenza per l'osservazione dell'esperienza umana, nella quale non è possibile operare una distinzione a livello di pensiero, parola o azione, se non a livello puramente teorico o descrittivo. L'oggetto di studio è di conseguenza il *meccanismo della ripetizione,* nella globalità delle espressioni possibili a livello biologico, fisico o mentale, i fenomeni ad esso collegati e gli effetti rilevabili come conseguenza di tale meccanismo.

Il presupposto teorico di riferimento è rappresentato dagli studi sulla mente incarnata, *embodied mind*, a partire dalla natura autopoietica dei sistemi viventi di Humberto Maturana e Francisco Varela (1970) fino ai più recenti approcci teorici e sperimentali realizzati in ambito multidisciplinare. In questo quadro teorico è possibile collocare l'individuo come osservatore di sé stesso, considerare l'autenticità delle osservazioni, valutare l'esperienza a livello di consapevolezza e darne una descrizione neurofenomenologica altrimenti impossibile. La multidimensionalità della ripetizione darà prova di come una semplice etichetta linguistica possa rappresentare il carattere "singolare" del linguaggio naturale e della specie umana stessa (Dehaene S., 2022).

Scoprire la Natura nella sua struttura (Carving nature at its joints)

Anche in approcci teorici cognitivi più recenti come la codifica predittiva emerge la necessità di distinguere tra aspetti rilevanti e aspetti secondari della fenomenologia oggetto di ricerca, spesso causa di errate interpretazioni e inattendibilità dei risultati. Nel porre in evidenza questa difficoltà spesso ci si riferisce ai due procedimenti da attuare

nella ricerca scientifica suggeriti da Socrate nel Fedro di Platone, dove il primo è rappresentato con "*l'abbracciare in uno sguardo d'insieme e ricondurre ad un'unica forma ciò che è molteplice e disseminato, affinché definendo ciascun aspetto si attinga chiarezza*" (Platone, *Fedro* 265 d), il secondo attiene alla "*capacità di smembrare l'oggetto in specie, seguendo le nervature naturali, guardandosi dal lacerarne alcuna parte, come potrebbe fare un cattivo macellaio*" (Platone, *Fedro* 265 e). Platone usa la *metafora* dell'intaglio e la sua *analogia* con il mondo animale per indicare la necessità di suddividere la realtà fenomenica secondo le Idee in base alle articolazioni che hanno per natura, e ricomporle successivamente in un'immagine unica al fine di coglierne la struttura.

In letteratura si trovano svariati interventi mirati a richiamare l'attenzione dei colleghi in merito al corretto *intaglio* dell'oggetto di ricerca: in un articolo a firma congiunta Friston - Buzsáki sulla percezione del tempo (2016), gli Autori sottolineano l'importanza dell'integrità dei concetti (Couchman et al., 2010) come fattore di ingrandimento e, come fattore di riduzione, la ricerca della struttura latente presente nel mondo reale (Gershman e Niv, 2010) rispetto alla totalità degli scenari possibili del modello computazionale. Secondo Buzsáki (2019), l'attuale approccio delle neuroscienze sperimentali è ancora oggi fortemente condizionato dalle categorie psicologiche formulate da William James nel suo testo "Principi di Psicologia" del 1890, classificando come "neofrenologia" il reiterato tentativo, mediante gli attuali strumenti diagnostici, di trovare i correlati neurali di categorie come *attenzione*, *memoria*, *emozioni*, *ragionamento*, *coscienza di sé*, … Un approccio dall'esterno all'interno (stimolo - risposta) che interpreta gli eventi neurali identificandoli con etichette linguistiche non coerenti con la conoscenza fin qui acquisita.

È opportuno a questo punto evidenziare come il pensiero greco arcaico possa, attraverso le interpretazioni di filosofi come Giorgio Colli, costituire un possibile punto di partenza per il corretto intaglio della ricerca. L'*étymos,* l'intimo significato della parola, è ciò che attribuisce realtà alla cosa nominata essendo altrimenti inconoscibile ai sensi. In *Filosofia dell'espressione* Colli (1969) interpreta il pensiero aristotelico introducendo "la categoria della relazione come elemento costitutivo della sostanza del mondo, la supremazia del *nesso* rispetto alla nozione generale dell'*Essere*" (Di

Giuseppe, 2021). Pur essendo un argomento potenzialmente fuorviante rispetto all'oggetto di discussione, è interessante notare come le teorie esposte nelle prossime pagine possano venire facilmente comprese e accettate sulla base di queste semplici premesse, in cui *étymos* e *relazione* diventano possibili strumenti di intaglio.

> **Termine:** lemma che occorre con diverse accezioni, ma principalmente *in una accezione logica*. ... L'interpretazione dei termini, nel contesto della più generale interpretazione del linguaggio formale considerato, è fornita con riferimento a un determinato universo del discorso che ha per dominio un insieme non vuoto di individui. (…).
> Treccani, *Dizionario di filosofia* (2009)
> https://www.treccani.it/enciclopedia/termine_(Dizionario-di-filosofia)/
>
> **Dominio:** sinonimo di ambito, territorio. Deriva da Dominus, che alcuni riferiscono alla radice DA, *legare,* e al greco DMŎS, *schiavo.*
> Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
> https://www.etimo.it/?term=domino
>
> **Idea:** *gr.* IDÈA, voce connessa a EIDÈŎ che ha il senso di *vedere*, nonché *sapere, conoscere,* e ad EIDŎS, *vista, intuizione, immagine,* dalla stessa radice del latino víd-eo, *vedo.*
> Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
> https://www.etimo.it/?term=idea

L'interpretazione della parola *termine* suggerisce la necessità di scomposizione del fenomeno osservato e l'importanza della relazione per renderne accessibile la Forma. La definizione del lessico nel linguaggio naturale è quindi soggetta ai medesimi vincoli presenti nell'accesso cosciente dei processi percettivi, dove solo una minima parte degli stimoli che costantemente il cervello elabora raggiunge il livello di consapevolezza attraverso la sincronizzazione di fase neuronale delle aree corticali interessate.

Se la comprensione del fenomeno avviene con un corretto processo di *smembramento* nelle sue articolazioni, il percorso inverso di ricostruzione fenomenologica deve per forza avvenire per *rimembranza*. Anche in questo caso, aspetto lessicale e pensiero greco antico riflettono quanto rilevato a livello sperimentale,

dove l'atto del ricordare è interpretato come un processo di assemblaggio coerente di configurazioni neuronali codificate. Nel mito greco, Mnemosine, personificazione della memoria, congiungendosi con Zeus genera le Muse, personificazioni di musica, danza, geometria, tragedia, commedia, poesia: nel pensiero greco antico, ontologia (continuità), logica (discretizzazione) e linguaggio (assemblaggio) costituiscono diverse sfaccettature del medesimo processo conoscitivo riflettendo, come si vedrà più avanti, il meccanismo di funzionamento neuronale.

> **Poesia:** *lat.* POÈSIS, dal *gr.* POIÈSIS che attiene a POIÈŎ *invento, compongo.* Arte di comporre opere in versi.
> Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
> https://www.etimo.it/?term=idea
>
> **Poiesis:** questa parola deriva dal verbo greco POIÈŎ che significa *fare, inventare, comporre, creare*. Poiesis, dunque, *è il processo attraverso cui qualcosa che non c'era può venire all'esistenza*, l'azione che porta dal non-essere all'essere.
> https://www.google.com/search?q=poiesis+etimologia

L'etimo di ripetizione indica come primo sinonimo del dominio di ricerca la parola *circolarità*, poiché tale termine si riferisce a qualcosa che si ripete in modo continuo, senza necessità di conferma o autorizzazione alcuna. La circolarità intesa come ciclo autoreferenziale consente di introdurre la teoria cognitiva di Maturana e Varela relativa ai sistemi viventi e la loro natura autopoietica.

Nell'introduzione al testo, Maturana riassume il percorso compiuto per elaborare la sua intuizione e individua nel linguaggio scientifico dell'epoca un limite espositivo: "*Con un dato linguaggio si può dire solo ciò che quel linguaggio permette di dire"* (pag. 25), da qui la naturale necessità di individuare un termine (autopoiesi) in grado di specificare "sistemi viventi definiti come unità per mezzo della circolarità basica della produzione dei propri componenti" (pag 26). Ciò che distingue questa intuizione

rispettivamente a quanto proposto fino a quel momento è l'assenza di ogni aspetto legato alla teleologia, ossia la necessità di un fine o uno scopo come obiettivo necessario e sufficiente per l'esistenza. Nonostante questo, Maturana conclude la presentazione con la seguente, significativa, considerazione:

> "*È una cosmologia e come tale è completa. ... un viaggio verso la scoperta che la materia, parlando metaforicamente, è la creazione dello spirito (il modo di esistere dell'osservatore in un dominio del discorso), e che lo spirito è la creazione della materia che esso crea. Questo non è un paradosso, ma è l'espressione della nostra esistenza in un dominio di cognizione nel quale il contenuto della cognizione è la cognizione stessa*" (pag. 31).

Parte prima

Ripetizione e ricorsività

Biologia della cognizione

Il termine autopoiesi (da *-poiesis*: creare, produrre) viene utilizzato da Maturana e Varela per indicare l'autonomia come fattore essenziale nell'organizzazione circolare dei sistemi viventi. Nei saggi *Biologia della cognizione* (Maturana, 1970) e *Autopoiesi. L'organizzazione del vivente* (Maturana e Varela, 1973) vengono enunciati i principi basilari della vita biologica e dei fenomeni percettivi, conseguenza di riflessioni e considerazioni relative a ricerche sperimentali sulla percezione visiva della rana e successivamente dei piccioni. In questi studi si osserva come "il sistema nervoso sembrasse usare relazioni geometriche per specificare distinzioni di colore" (pag. 27) e come non fosse possibile trovare una corrispondenza con le molteplici esperienze cromatiche dell'osservatore: da qui la necessità di "trattare l'attività del Sistema Nervoso come determinata dal SN stesso e non dal mondo esterno" (p. 28). L'applicazione di questo approccio è stato descritto nell'articolo *A Biological Theory of Relativistic Color Coding in the Primate Retina* (Maturana et al., 1968) in cui si considera il SN come un sistema chiuso e l'impossibilità di trovare una adeguata forma di osservazione in grado di descrivere in modo soddisfacente il sistema osservato. Il sistema vivente è una unità definita dalle interazioni tra le parti che lo compongono, dove l'organizzazione circolare delle interazioni è finalizzata all'unico scopo del mantenimento dell'omeostasi, ossia la ripetizione dei processi necessari al mantenimento della struttura. La circolarità implica che ogni interazione che si realizza una volta venga poi successivamente ripetuta, ovvero dopo una data interazione deve seguirne un'altra specifica, pena la cessazione del sistema. La predittività del ciclo di interazioni rende "i sistemi viventi dei sistemi inferenziali e il loro dominio di interazioni un dominio cognitivo" (pag. 56).

> **cognizióne** s. f. [dal lat. *cognitio -onis*, der. di *cognoscĕre* «conoscere», part. pass. *cognĭtus*], letter. – **1.** Il conoscere e la cosa stessa conosciuta. **2.** Facoltà di conoscere, come capacità di apprendere e valutare la realtà circostante.
> Treccani, *Vocabolario On Line*
> https://www.treccani.it/vocabolario/cognizione/

"I sistemi viventi sono sistemi cognitivi, e il vivere in quanto processo è un processo di cognizione" (pag. 59). Ogni forma di vita è quindi un organismo che conosce le interazioni necessarie e sufficienti al proprio mantenimento, nel contempo ha la capacità di adattarsi alla realtà circostante per preservare l'omeostasi: il sistema risponde alle modificazioni dell'ambiente variando le proprie interazioni senza pregiudicarne la struttura, pena la disintegrazione e la cessazione del sistema stesso. Secondo Maturana, le interazioni che il SN permette di realizzare portano a una espansione della cognizione, non alla creazione di nuova conoscenza. A differenza dei sistemi privi di SN in cui le relazioni con l'ambiente sono di natura fisico-chimica (ad esempio: l'assorbimento di una molecola dà inizio a un processo enzimatico; il processo di fotosintesi viene avviato tramite l'assorbimento di un fotone), il SN consente di espandere le interazioni dell'organismo modificando i propri stati interni sulla base di quelle che Maturana definisce relazioni "pure": nel caso della preda alla vista del predatore, il fotone attiva lo stimolo visivo (fisico) ma la risposta comportamentale è data da relazioni che avvengono all'interno delle unità che compongono l'organismo, i cui stati interni sono sottoinsiemi del dominio di interazioni, trattati come se fossero unità indipendenti. La capacità di includere un dominio cognitivo come sottoinsieme di un altro dominio permette un comportamento orientante e comunicativo tra organismi, che si realizza tramite rappresentazioni originate dai rispettivi domini di interazioni interne. La capacità dell'essere umano di generare rappresentazioni e operarvi ricorsivamente con la costruzione di reciproche relazioni consente l'emergere del pensiero astratto, la capacità di essere osservatori e infine l'introspezione attraverso l'auto-osservazione. Circolarità e ricorsività sono i meccanismi biologici che consentono l'emergere del pensiero e successivamente la comparsa del linguaggio naturale come forma di comportamento orientante tra individui.

Pensiero e linguaggio non appartengono alla medesima classe di interazioni, come si evince dagli studi compiuti su pazienti con resezione del corpo calloso per gravi problemi di epilessia (Gazzaniga e Sperry, 1967). Gli studi sul linguaggio compiuti con questi pazienti mostra come la mancanza di comunicazione interemisferica impedisca all'emisfero destro la produzione verbale o scritta in risposta a uno stimolo linguistico ricevuto (con esclusione dell'emisfero sinistro) e consenta una risposta solo di tipo non verbale; nel contempo è preservata una buona capacità di ideazione e comprensione percettiva.

L'utilizzo del linguaggio naturale come forma di cooperazione tra individui rappresenta l'evoluzione di comportamenti orientanti osservati nei primati e nel mondo animale, in cui il comportamento visibile e udibile del singolo può orientare e dirigere i domini cognitivi dei simili tramite la ripetizione di semplici interazioni (Sumpter, 2006).

Per comportamento orientante si intende un particolare schema di azioni in essere tra due o più individui o all'interno di un gruppo, di carattere adattivo (come un comportamento attuato in presenza di un predatore) o di semplice regolazione sociale. Un esempio è la danza delle api, il cui scopo è comunicare ai membri dell'alveare le coordinate necessarie a raggiungere i luoghi di fioritura una volta effettuata l'esplorazione. O ancora, l'apprendere una tecnica di approvvigionamento di cibo attraverso l'osservazione di un individuo più esperto, come l'apertura di un cocco con l'utilizzo di un sasso appuntito o la rottura per caduta del guscio di una noce.

Queste interazioni accoppiate a un dato comportamento, condivise e apprese, unitamente allo sviluppo del SN che ne ha consentito la descrizione all'interno di un dominio cognitivo (Geschwind, 1964; Mesulam, 1998), hanno via via sostituito la precedenti forme di comportamento orientante fino all'adozione del linguaggio da parte della specie umana. L'acquisizione del linguaggio in sostituzione di comportamenti orientanti fa sì che non possa essere considerato una caratteristica innata ma piuttosto come una proprietà emergente del SN, la cui progressiva trasformazione anatomica a livello corticale e subcorticale ha permesso la realizzazione di connessioni e interazioni più raffinate. Nel considerare l'organismo come un sistema chiuso, la funzione del linguaggio è quella di orientare i domini cognitivi di parlante e interlocutore (Austin, 1975) al fine di rendere possibile il riconoscimento di un significato condiviso e la cooperazione. In questa

accezione il linguaggio non consente un trasferimento di informazioni da un individuo a un altro ma orienta nell'ascoltatore la ricerca delle descrizioni presenti nel proprio dominio cognitivo: è nella riduzione di incertezza delle proprie interazioni interne che l'ascoltatore crea informazione. In altre parole, il linguaggio in sé non consente di acquisire l'esperienza legata all'azione attraverso il semplice passaggio di informazioni ma consente di richiamarne la descrizione *se presente* nel dominio cognitivo (*so di cosa stai parlando*) e collocarla nel contesto adeguato.

L'emergere del dominio linguistico come funzione orientante implica, al pari di ogni unità che compone la struttura dell'organismo, che l'utilizzo del linguaggio naturale si conformi alle regole che ne hanno definito struttura e organizzazione (grammatica e sintassi), pena il venire meno dell'efficacia comunicativa e la disintegrazione di significato, come ad esempio avviene nel caso di un soggetto affetto da afasia.

Il meccanismo biologico circolare e ricorsivo conferisce al linguaggio la proprietà generativa (Chomsky, 1968), ovvero la capacità di produrre un numero infinito di descrizioni in grado di operare e modificare le interazioni dell'organismo stesso. In questa prospettiva, semantica e sintassi non possono essere considerate separatamente: "io vado a mangiare, nonna" è sicuramente più adeguata rispetto alla costruzione semplificata "vado a mangiare nonna" (usa la virgola per salvare la nonna), la cui corretta comprensione richiede la condivisione di significati relativi all'ambiente sociale e culturale in cui si svolge l'azione. Agli occhi di un osservatore esterno, la corretta interpretazione di significato da parte dell'interlocutore potrebbe portare a considerare la comunicazione come un trasferimento di informazioni tra i due soggetti. In ottica autopoietica, il fenomeno osservato mostra una interazione operata tra due individui (organismi) con domini cognitivi orientati e condivisi; il trasferimento di informazioni risiede unicamente nelle descrizioni appartenenti al dominio cognitivo dell'osservatore. L'importanza e l'efficacia del comportamento linguistico risiede di conseguenza nello sviluppo di un dominio di interazioni orientanti consensuale, necessario al mantenimento della circolarità tra due organismi in reciproca interazione.

La capacità di apprendimento si traduce nella possibilità di un organismo di modificare in modo diretto o indiretto il comportamento in relazione all'esperienza, al fine di mantenere il ciclo vitale di base. Il processo è privo di connotazione temporale,

nel senso che la connotazione di *prima* e *dopo* appartiene alla capacità linguistica generativa del SN poiché il comune significato di tempo non trova riscontro dal punto di vista neurofisiologico: "la ricerca nelle neuroscienze continua ad essere svolta e interpretata nell'ottica del contenitore della fisica classica, anche se nella fisica contemporanea *non esiste più lo spazio che contiene il mondo, e non esiste il tempo in cui accadono gli eventi*" (Rovelli, 2014). Buzsáki e il suo gruppo di ricerca (Buzsáki et al, 2022) hanno osservato come la dimensione temporale dipenda dal sistema ippocampale, il quale scansiona e organizza informazioni presenti nelle aree della neocorteccia concatenando e sequenziando tracce mnestiche sia in codifica che in recupero secondo una organizzazione sintattica già presente nel SN, analogamente alla sintassi linguistica. In questa prospettiva, l'apprendimento si realizza nella selezione della configurazione sintattica più adeguata per adattare la risposta dell'organismo alle variazioni dell'ambiente, la cui peculiarità circolare e ricorsiva permette la definizione di infiniti costrutti a partire da un numero finito di significati.

In Maturana (1970), la variabile emotiva è sufficiente per far sì che una altrimenti identica esperienza possa essere codificata lungo un asse temporale *prima* e *dopo*, come avviene abitualmente nella quotidianità. Ad esempio, la condizione di incertezza che normalmente distingue la prima esperienza dalle successive è sufficiente al SN per operarne la codifica a livello temporale come *precedente a* oppure *successiva a*. La costante codifica emotiva porterebbe l'organismo a classificare erroneamente quanto esperito sempre come *la prima volta*, nell'impossibilità di distinguere tra la prima esperienza e le successive, qualificando il sintomo come una perdita di memoria recente; l'eventuale assenza di connotazione emotiva nella prima esperienza potrebbe invece portare a una sensazione di "deja vu".

L'emergere del linguaggio consente all'individuo di generare descrizioni che vanno a costituire un dominio temporale unidirezionale basato sulla differenziazione emotiva delle esperienze, attraverso il quale interagisce con altri individui pur mantenendo la dimensione atemporale di funzionamento. Infine, la descrizione di un comportamento passato, presente o futuro può esistere solamente nel dominio cognitivo dell'osservatore, il quale genera un dominio temporale formato da descrizioni relative a

prima, durante e dopo il dato osservato. Le descrizioni così generate non possono dare conto o esplicare in alcun modo il dominio atemporale relativo all'organismo osservato.

La formulazione del concetto di dominio cognitivo dell'osservatore ha la sua ragion d'essere nella constatazione empirica di inadeguatezza descrittiva del dato sperimentale, espresso secondo un approccio in terza persona e assunto come verità fondante. Come verrà esposto nel corso della trattazione, anche altri autori sostengono la necessità di un cambio di paradigma in grado di includere le peculiarità funzionali del SNC e le sue interazioni con l'ambiente.

Autopoiesi. L'organizzazione del vivente.

Nel saggio "Autopoiesi. L'organizzazione del vivente.", Maturana e Varela (1973) definiscono i sistemi viventi secondo una prospettiva meccanicistica e individuano le caratteristiche necessarie a renderli tali. Presupposto di partenza è la convinzione che il mantenimento dell'identità del sistema vivente (omeostasi) e l'invarianza delle relazioni che lo definiscono (organizzazione) costituiscano "la base di ogni possibile trasformazione evolutiva e ontogenetica nei sistemi biologici" (pag. 127) attribuendo così la priorità del carattere unitario del sistema (individuo) rispetto alla complessità della specie. Il sistema vivente è quindi una unità fisica la cui organizzazione è data dalla rete di processi di produzione, trasformazione e distruzione dei componenti che la definiscono come unità, mentre le relazioni spaziali esistenti tra gli stessi ne definiscono forma e spazio fisico. La spinta evolutiva avviene in conseguenza alle pressioni ambientali, a cui la struttura dell'organismo risponde con modificazioni atte a preservare l'organizzazione dei processi senza pregiudicarne la fisiologia, pena la perdita dell'autopoiesi ovvero la disintegrazione. In quanto unità fisica definita dall'organizzazione dei propri processi di produzione, trasformazione e distruzione, il sistema autopoietico è autonomo e privo di input e output. L'osservatore individua input e output di un sistema sulla base di una descrizione che appartiene al proprio dominio cognitivo ma che non è pertinente all'unità autopoietica in quanto il prodotto della descrizione differisce per definizione dal prodotto dei processi dell'unità, finalizzati al mantenimento della propria identità. In ottica meccanicistica gli autori utilizzano il termine "macchina" per indicare un sistema e l'organizzazione dei processi che ne regolano il funzionamento.

La macchina autopoietica è un sistema vivente, privo di input e output, la cui organizzazione è finalizzata al mantenimento della propria identità; la macchina allopoietica è una macchina la cui identità è definita dalla descrizione di un osservatore sulla base degli input e output da lui individuati.

Il Sistema Nervoso come sistema autopoietico

"La fenomenologia di un organismo come unità è la fenomenologia della sua autopoiesi" (pag. 185), ovvero la fenomenologia di una rete neuronale è la *neurofenomenologia della sua autopoiesi.* Ogni organismo è formato da unità

autopoietiche, legate tra loro da interazioni atte a definire strutture più complesse a loro volta identificabili come nuove unità, come nel caso dell'accoppiamento tra SN e organismo. Il termine accoppiamento indica l'associazione di unità autopoietiche in cui una variazione nella prima modifica lo stato dell'altra. Nel caso del SN, l'organismo fornisce l'ambiente fisico e biochimico in cui i neuroni possono formarsi e stabilire le connessioni che andranno a creare la rete neuronale. Le variazioni dell'ambiente e l'ontogenesi dell'organismo influenzano lo sviluppo di tale rete e viceversa: vi sono variazioni di stato fisiche e biochimiche dell'organismo che possono condizionare gli stati del SN, come pure variazioni di stato del SN che condizionano e modificano lo stato dell'organismo. In questo modo il SN è parte della costruzione del sistema di relazioni che definisce l'autopoiesi dell'organismo e a questa partecipazione è gerarchicamente subordinato.

La fenomenologia di un sistema autopoietico si svolge nel presente perché la dimensione temporale non ha valore causale in questo meccanismo: ogni valutazione da parte di un osservatore lungo un asse temporale da lui stabilito è rappresentativo di una descrizione inadeguata dell'accoppiamento tra la struttura del SN e lo sviluppo ontogenetico dell'organismo. Come esempio di quanto precedentemente esposto, il neurone è l'unità minima del SN in quanto determina il proprio spazio fisico in base alla propria organizzazione autopoietica ma poiché è caratterizzato da superfici effettrici (output) e collettrici (input) è al contempo anche un componente allopoietico del SN stesso. Un singolo neurone non è in grado di condizionare l'attività della rete neuronale di cui fa parte, dal momento che la medesima configurazione di output può essere generata da molteplici configurazioni di input della cellula. L'ontogenesi del neurone e la sua partecipazione all'attività della rete neuronale si modificano subordinatamente all'ontogenesi dell'organismo, dove la ricorsività dovuta all'accoppiamento è sia causa che effetto dei rispettivi cambiamenti: le variazioni sensoriali dell'organismo producono infatti attività collettrici sulla superficie dei neuroni mentre attività neuronali effettrici portano a modificazioni dell'attività sensoriale. Che si consideri unità autopoietica il SN singolarmente o in accoppiamento con l'organismo, in entrambi i casi troviamo un sistema chiuso in cui ad attività neuronale corrisponde altra attività neuronale, la cui fenomenologia è neurofenomenologia priva di dimensione temporale; ogni distinzione operata tra fattori

ambientali esterni e fattori interni collocata lungo un asse temporale appartiene esclusivamente al dominio descrittivo di un osservatore esterno. Il SN come unità autopoietica rimane tale anche in presenza di lesioni localizzate, in cui il cambiamento della rete neuronale prodotto dalla lesione determina una variazione nell'architettura con proprietà diverse rispetto all'unità originale (per esempio, la disintegrazione del linguaggio nel soggetto afasico, conseguenza della disintegrazione della struttura corticale deputata).

Come ultima citazione di ciò che è stato un manifesto programmatico relativo alla biologia della cognizione, è significativa l'affermazione degli Autori per cui ogni dominio emergente dal progressivo aumento di complessità del SN sia sostanzialmente simile, nella forma e nella struttura:

"*Così, per quanto complesse possano essere le coordinazioni motorie e sensorie del parlare, la peculiarità del comportamento linguistico non sta nella complessità o natura delle serie di stati effettori e ricettori che la costituiscono, ma nella rilevanza che tale comportamento acquisisce per il mantenimento della circolarità fondamentale degli organismi interagenti attraverso lo sviluppo del* dominio consensuale di interazioni orientanti*. Parlare, camminare, o fare della musica non differiscono nella natura dei processi neuronali coordinati che li specificano ma nei sottodomini di interazioni nei quali acquisiscono la loro rilevanza.*" (pag 83).

Sulla base di quanto fin qui esposto, è doveroso verificare l'attualità di questa teoria e come possa trovare riscontro nei progressi teorici e scientifici compiuti in questo ampio intervallo di tempo.

Autopoiesi e allopoiesi: l'Anticipatory System di Robert Rosen

Robert Rosen è stato un importante biologo teorico le cui intuizioni hanno determinato il quadro teorico e concettuale di riferimento nell'ambito della ricerca sui sistemi predittivi, come ricordato in Louie (2010). Secondo la definizione di Rosen, "un *sistema anticipatorio* è un sistema naturale che contiene un modello predittivo interno di sé stesso e del suo ambiente, che gli consente di cambiare stato istantaneamente in accordo con le previsioni relative a un istante successivo" (Rosen, 1985).

In Natura è possibile osservare una moltitudine di organismi in grado di generare modelli predittivi e modificare il proprio comportamento in conseguenza alle previsioni realizzate: a differenza del meccanismo classico stimolo-risposta (paradigma causale) che si colloca rigorosamente nel presente, un sistema anticipatorio elabora modelli di risposta che ricongiungono a un'unica dimensione le prospettive passate, presenti e future (paradigma anticipatorio). In accordo con l'assunto autopoietico, il sistema anticipatorio postula che un modello del sé dell'organismo risieda in ogni suo componente e che queste informazioni acquisiscano significato all'interno delle relazioni necessarie al mantenimento della propria organizzazione nel tempo ovvero ciò che è significativo nel presente sarà verosimilmente significativo anche nel futuro.

L'applicazione di questo paradigma richiede all'organismo la realizzazione di un modello interno dell'esperienza sul quale compiere la simulazione necessaria alla previsione, basato su un surrogato del tempo necessariamente più rapido del tempo esperito affinché possa essere attuata la risposta adattiva alla simulazione. Il modello interno è definito sulla base di una relazione di *analogia* con l'esperienza, le cui proprietà funzionali dovranno essere massimamente condivise affinché la previsione possa rivelarsi esatta e attendibile.

L'Anticipatory System è valido e riscontrabile in Natura in ogni forma e ordine di grandezza, ciò che può essere osservato a livello cellulare può essere osservato in dimensioni più grandi fino ad arrivare alla complessità dei comportamenti sociali ed economici, è una legge naturale e come tale è caratterizzato da *semantica* e *sintassi*. Il principio sottostante alla definizione di una legge naturale è dato dalla disposizione di un osservatore a ricercare la regolarità di eventi dovuti a una causa osservabile e individuabile, tale che al manifestarsi di un certo fenomeno sia possibile prevedere i

fenomeni successivi e conseguenti in rapporto causale al verificarsi del primo – sintassi –. La capacità dell'osservatore (organismo) di cogliere le *relazioni* che si verificano in rapporto di causalità e attribuirvi significato – semantica – attiene invece al sé cognitivo e consente la realizzazione del modello anticipatorio interno e dell'ambiente osservato.

La definizione formale di un modello matematico dell'esperienza – modellazione computazionale – fornisce una simulazione dell'esperienza, quanto più si avvicina all'esito reale, e lo sarà in base alla condivisione di variabili considerate, tanto più il modello è esatto e sarà possibile considerare il comportamento esibito come una *realizzazione* dello stesso.

In sintesi l'*Anticipatory System* è un particolare sistema adattivo derivante dall'accoppiamento allopoietico di due sistemi autopoietici A e B, in cui a un comportamento esibito da A segue la risposta comportamentale di B, esito dell'elaborazione di un modello interno costruito da B sulla base della regolarità dei fenomeni osservati in A.

"La biologia è la scienza della comunanza di relazioni, e le relazioni contengono il significato essenziale della vita" (Louie, 2010).

sciènte: dal lat. SCIENTEM part. pres. di SCÌRE *sapere* … che il Curtius e l'Ascoli rannodano alla rad. SKA-, SKI- = sscr. CHACHI- *taglia*|re|, onde *sapere* varrebbe letteralmente *tagliuzzare, sminuzzare, separare le cose*.
https://www.etimo.it/?term=sciente

sciènza: dal lat. SCIÈNTIA da SCÌENS part. pres. di SCÌRE *sapere*.
Sistema di cognizioni acquistate con lo studio e con la meditazione.
https://www.etimo.it/?term=scienza

cosciènza: dal lat. CONSCIÈNTIA, da CÒNSCIENS p.p. di CONSCÌRE *essere consapevole* (comp. di CON=CUM *con* e SCÌRE *sapere* ond'anche la voce cònscio (v. sciente).
Secondo la forza della parola latina vale *sentimento che accompagna la scienza*, e quindi si adopera genericamente per *consapevolezza di ciò che avviene in noi*.
https://www.etimo.it/?term=coscienza
conóscere: dal lat. COGNÒSCERE comp. di CO o CON = CUM *con* particella intensiva o di semplice appoggio della voce, oppure indicante mezzo, strumento dell'azione, e GNÒSCERE *conoscere*, dalla radice GNA che è nel sscr G'NÀS, G'NÀTIS *conoscente*, G'NÀNA *cognizione, scienza*, G'NAPTI *intelligenza*, nel gr. attic. GI-GNÒSCO *conosco*, GNÒMÈ *mente*, GNÒSIS *cognizione, notizia*, NÒOS *intelletto*, …
Apprendere coll'intelletto a prima giunta l'*essere*, la ragione, il vero delle cose; avere idea, notizia di checchessia, acquistata per mezzo de' sensi, dell'intelletto o della memoria.
https://www.etimo.it/?term=conoscere

èssere: v. intr. [lat. *esse* (volg. **essĕre*), pres. *sum*, da una radice **es-*, **s-* che ricorre anche nel sanscr. *ásti* «egli è», gr. ἐστί, osco *est*, ant. slavo *jestŭ*, ecc.; il perf. *fui* da una radice **bhū-* che ricorre nel sanscr. *ábhūt* «egli è stato», gr. ἔφυ «è nato», ecc.]. – È la parola che ricorre più frequente nel discorso e la più necessaria all'espressione del pensiero. Differisce da tutti gli altri verbi perché nel suo uso assoluto non «determina» il soggetto ma soltanto lo «pone» come esistente.
https://www.treccani.it/vocabolario/essere1/

Scienza e Coscienza

> *Quando si parla di "coscienza" nei circoli di neuroscienze sperimentali, ancora oggi si alzano le sopracciglia*
> (Buzsáki, 2019. The Brain from Inside-Out, pag 8).

Dato l'etimo, scienza e coscienza risultano in stretta relazione con i procedimenti indicati da Socrate, dove il primo termine indica il corretto intaglio dell'oggetto di studio mentre attraverso il secondo si compie il processo necessario all'acquisizione della visione d'insieme.

Il concetto di *coscienza incarnata*, un sé emergente dalle relazioni interne all'organizzazione autopoietica, viene proposto da Francisco Varela sulla base dello studio del sistema immunitario e della sua organizzazione, contesto nel quale l'applicazione del paradigma cognitivo consente il superamento di alcune lacune teoriche emerse sperimentalmente e contraddicenti quanto postulato dalla Teoria della Selezione Clonale (TSC, 1959) precedentemente accettata.

Sistema immunitario e cognizione

"Questo articolo propone una definizione di cognizione come un sistema capace sia di *azione* che di *percezione*, dove l'accoppiamento di azione e percezione è tale che:

- il sistema mostra una chiusura operativa,
- il comportamento emergente dal sistema nel suo ambiente soddisfa un vincolo significativo"

(Varela F., 1994: *A cognitive view of the immune system*).

In ambito immunologico è opinione condivisa che il Sistema Immunitario (SI) sia caratterizzato da capacità cognitive come riconoscimento, apprendimento e distinzione tra *self* e *non-self* (Klein, 1982).

Tutti i vertebrati possiedono un SI, il quale contribuisce al mantenimento dell'omeostasi dell'organismo proteggendolo dall'azione di virus e batteri esterni mediante i linfociti, una particolare classe di cellule in grado di muoversi liberamente nel sistema circolatorio e nelle vie linfatiche. Il meccanismo di funzionamento di tali cellule si esplica mediante le immunoglobuline (Ig), proteine che possono trovarsi sia legate alla membrana cellulare dei linfociti che in forma di molecole a sé stanti. Ogni Ig è composta da due regioni distinte: la regione "framework" attribuisce forma e struttura comune, la regione "variabile", specifica da clone a clone, ne definisce il sito di combinazione molecolare. Tale sito consente alle immunoglobuline di fungere da recettori del linfocita: quando il recettore "aggancia" una molecola (batterio o virus) il linfocita si attiva consentendo loro la capacità di produrre numerose altre Ig tramite secrezione o cloni del medesimo linfocita. La variabilità dei siti di combinazione è talmente elevata che in una popolazione di milioni di unità non esistono due cloni con la medesima configurazione, variabilità dovuta alla riorganizzazione del DNA somatico delle cellule.

La teoria immunologica classica prevede che alla comparsa di un agente patogeno esterno (detto antigene) si attivi la risposta immunitaria adeguata alla distruzione della minaccia tramite i linfociti B e T, i quali hanno la capacità di distinguere tra strutture interne (*self*, utili all'organismo) e strutture esterne (*non-self*, dannose per l'organismo). Lo specifico clone in grado di interagire con l'antigene (selezione clonale) sarà stimolato sia a proliferare che a secernere Ig fino al superamento dell'emergenza. Questa moda-

lità di funzionamento del SI, comunemente accettata, è nota con il nome di Teoria della Selezione Clonale (McFarlane Burnet, 1959) e presuppone l'esistenza di uno specifico clone per ogni specifico antigene. Tale caratteristica è descritta in immunologia con l'espressione "repertorio linfocitario completo" (Coutinho et al., 1984). La selezione clonale non rende tuttavia conto di molte particolarità del comportamento immunitario, come ad esempio i principi sottostanti alla modulazione dello stato infiammatorio, mettendo in evidenza la necessità di un diverso approccio nello studio dell'argomento.

In immunologia è stata lungamente accettata la netta separazione tra SNC e SI in virtù del fatto che le funzioni di nutrizione e mantenimento del tessuto cerebrale sono svolte da cellule gliali come astrociti, microglia e oligodendrociti, le quali costituiscono quasi due terzi della massa cerebrale. Tutte le cellule gliali hanno caratteristiche immunocompetenti innate e proteggono il SNC da infezioni provvedendo al mantenimento della barriera ematoencefalica, a riprova della separazione tra cervello e corpo. Poiché lo strumento utilizzato dal SI come difesa dagli agenti patogeni è uno stato infiammatorio e tale stato ha pesanti ricadute sulla funzionalità cognitiva, la conseguenza logica è che a livello teorico una connessione tra i due sistemi possa essere potenzialmente dannosa oltre che non necessaria.

Recenti studi hanno invece mostrato come il SI interagisca con il SNC attraverso i vasi linfatici meningei e come alcuni linfociti T autoimmuni possano provvedere alla riparazione del danno cerebrale da degenerazione secondaria, conseguente cioè al degrado dei neuroni sani prossimi al sito danneggiato a causa delle tossine prodotte dall'alterazione metabolica dei neuroni colpiti (Schwartz et al, 1999). L'autoimmunità, fattore potenzialmente dannoso per l'organismo, diventa fattore di protezione e cura in funzione del contesto d'azione, in cui la cellula T pur mantenendo la propria specificità è in grado di aggredire molteplici agenti patogeni: l'evidenza sperimentale che il singolo clone delle cellule T possa legarsi a un numero enorme di catene peptidiche (milioni, secondo lo studio di Maverakis et al., 2001), rende incongruente l'ipotesi della distinzione tra *self* e *non-self*.

SNC e SI risultano essere quindi due sistemi accoppiati, la cui interazione è necessaria per il mantenimento dell'omeostasi cerebrale "*senza la necessità di fare una distinzione assoluta tra sé e non-sé*. Sia l'auto-mantenimento che la difesa contro i

parassiti richiedono un'infiammazione misurata e il sistema immunitario, in entrambe le sue due forme innata e adattativa, regola l'infiammazione. L'intensità, la dinamica e l'orchestrazione dell'infiammazione *emergono da un dialogo continuo*" (Cohen, 2000).

Sintesi e Sintassi nel Sistema Immunitario

In *Language, meaning and the Immune System*, Cohen (1995) osserva come in alcune patologie la risposta immunitaria procuri la distruzione del SI (risposta auto-immune, ad es. HIV) anziché combattere l'agente patogeno, conseguenza del fatto che l'epitopo (la configurazione spaziale del sito di legame dell'antigene) non è di per sé portatore di informazione. In analogia con il linguaggio naturale, l'epitopo è come una parola la cui ambiguità semantica rende difficoltosa la comprensione e quindi una risposta pertinente, in questo caso immunitaria (es. *piano*: a seconda del contesto può indicare uno strumento musicale, una superficie, il livello sonoro, uno sforzo muscolare). Ogni tipo di antigene richiede una risposta specifica ma l'esito del responso è condizionato alla corretta interpretazione del messaggio (epitopo): un messaggio è significativo solamente quando attiva la risposta adeguata.

Secondo Cohen il significato è attinente al dominio della comunicazione ovvero la relazione in essere tra natura dello stimolo immunogenico e risposta immunitaria: più che dal singolo epitopo (TSC, risposta monoclonale), propone che il SI attui una strategia linguistica per acquisirne il significato mediante la lettura di stringhe di epitopi (frasi), strutturate secondo regole pre-esistenti (sintassi). Data la proprietà generativa del linguaggio, la possibilità di aggregazione di infinite stringhe a partire da strutture sintattiche predeterminate consente la costruzione di un "repertorio completo" *semantico* anziché clonale (risposta policlonale).

A partire dalla TSC (paradigma causale), acquisita come meccanismo monoclonale adattivo, Cohen propone la teoria dell'Homunculus Immunologico (contratto successivamente in *Immunculus*, 1991) secondo la quale la risposta immunitaria è il risultato del dialogo posto in essere all'interno di una complessa *rete regolatrice di interazioni* tra cellule linfocitarie. Al pari della rappresentazione neurale del sistema motorio fisico (Homunculus), l'*Immunculus* di Cohen costituisce l'immagine del sé molecolare codificata in ognuna delle cellule linfocitarie del SI, il quale modula

l'attivazione immunitaria policlonale al rilevarsi di una discrepanza tra immagine codificata e situazione corporea del momento. La proposta di applicazione del paradigma cognitivo consente un'interpretazione alternativa alle problematiche connesse alle funzioni immunitarie ovvero la distinzione tra segnale e rumore, il contesto d'azione e la risposta al messaggio di infezione. La distinzione tra segnale e rumore implica il riconoscimento del sopraggiungere di una minaccia esterna (segnale) rispetto alla normale perturbazione interna (rumore), poiché la rimozione di antigeni come esito dell'attività cellulare interna rientra nella normalità omeostatica dell'organismo. Una volta riconosciuto il segnale, il contesto fornisce informazioni aggiuntive in relazione alla necessità o meno di una risposta immunitaria. Infine, il problema della risposta implica la capacità di modulare l'infiammazione secondo gravità, tempistica e sito d'infezione. Nel paradigma cognitivo proposto da Cohen l'interazione antigene-recettore riguarda l'interpretazione dell'antigene (qualunque sia la sua origine, self o non-self) nel contesto in cui viene percepito, e in base a questa percezione, il sistema seleziona una risposta appropriata. L'aggregazione di questo comportamento si traduce in un'*intenzionalità emergente* del sistema.

Cognizione senza Neuroni

In "*Cognizione senza Neuroni: adattamento, apprendimento e memoria nel sistema immunitario"* (Stewart, 1993) John Stewart pubblica i risultati relativi alla costruzione di un modello computazionale del sistema immunitario come network autonomo auto-attivante (Varela et al., 1988; Stewart e Varela, 1989), in collaborazione con Francisco Varela e Antonio Coutinho.

Viene utilizzato il concetto "shape-space" formulato in precedenza (Stewart e Varela, 1991), in cui i parametri morfologici (organizzazione spaziale) del sito di legame *p* delle Ig, trovano corrispondenza nelle coordinate di un punto all'interno di uno "spazio" *p*-dimensionale, ossia strutturato in modo tale da consentire l'aggregazione delle Ig al suo interno.

Poiché la criticità emergente nella definizione di "repertorio completo" (TSC) è che, in quanto completo, all'interno di questo dovrebbero potersi verificare interazioni *tra* cloni affini ovvero dovrebbero legarsi tra loro generando una risposta autoimmune (Jerne, 1974), nella simulazione sono state definite due classi di cloni complementari ("bianco" e "nero") e *con interazioni di elevata affinità*, facendo corrispondere a ogni coppia di cloni il medesimo punto dello spazio *p*-dimensionale (per ogni punto dello spazio *p,* il clone "nero" e il clone "bianco" sono in competizione per legarsi al medesimo punto, il reclutamento del clone consiste nell'acquisizione del punto di ancoraggio simulandone l'attivazione da parte del SI).

Il midollo osseo ha una produzione continua di nuovi cloni, i quali possono essere reclutati e attivati dai linfociti in caso di infezione, oppure restare inattivi nel flusso sanguigno fino al termine del loro ciclo di vita di due o tre giorni. Il modello non prevede la proliferazione ma ne simula il reclutamento. È impostato anche un campo di valore compreso tra una soglia minima e una massima, al di fuori del quale il clone non viene reclutato oppure viene escluso dalla popolazione. La simulazione comincia con un clone "nero" al centro dello "shape-space", seguito da una sequenza arbitraria di cloni "bianchi" e "neri": dopo ogni reclutamento vengono verificati i valori di soglia dell'intera popolazione e le unità al di fuori dell'intervallo previsto vengono eliminate. Inizialmente i cloni occupano lo shape-space in modo disordinato (fig. 1a-b), perché il campo creato dal clone "nero" consente il reclutamento del clone affine "bianco" (e viceversa) ma nel

ricalcolo dell'intera popolazione il nuovo entrato spesso porta l'elemento più estremo al superamento del valore di soglia, e alla soppressione di campo del clone vicino, eliminato a sua volta, mostrando un effetto di auto-organizzazione (fig. 1c-d).

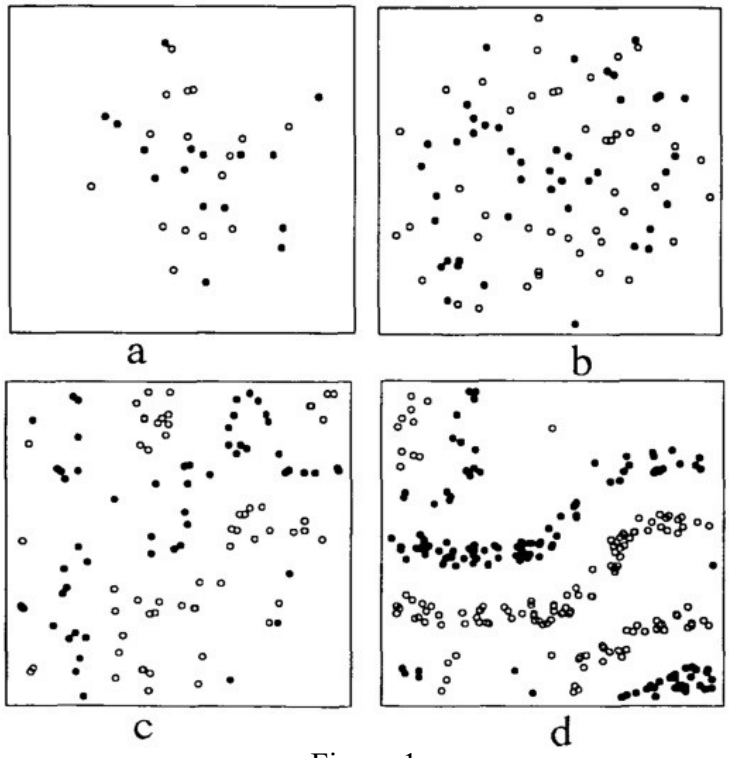


Figura 1

Il processo perpetuo di auto-organizzazione consente l'emergenza e la stabilità di configurazioni di catene lineari di cloni bianchi e neri di forma toroidale (fig. 2a-b).

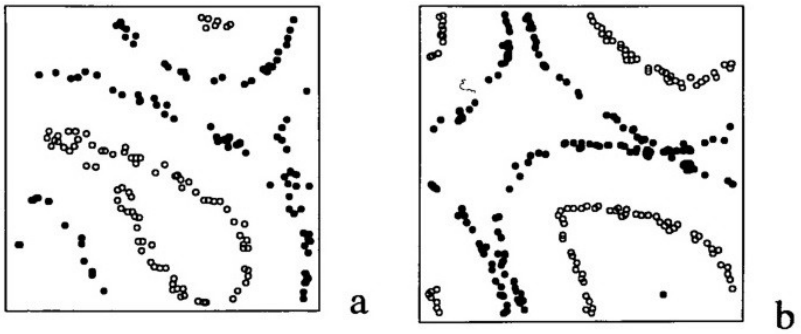


Figura 2

La rappresentazione che appare in figura 2b, con un clone isolato all'interno delle catene di un'altro colore, è un fenomeno saltuario e di transizione poiché si viene immediatamente a creare il campo di reclutamento per un clone dello stesso colore,

campo dovuto all'*asimmetria* del contesto che pone in modo sistematico il clone isolato al di fuori dei valori di soglia.

In questa semplice modellazione, a differenza di quanto sostenuto nella TSC, si evidenzia un network auto-organizzato di alto livello con una selezione endogena, non prefissata da regole a priori ma piuttosto soggetta a vincoli autodeterminati all'interno del processo di selezione.

L'antigene ha una natura policlonale ovvero è in grado di legarsi a una molteplicità di recettori sebbene il comportamento reale si riduca ad un numero ristretto di combinazioni possibili. Come già detto, contrariamente a quanto sostenuto nella TSC, anche il singolo recettore (Ig) ha la possibilità di combinarsi con un ampio numero di antigeni originando così una risposta policlonale. La modellazione dell'antigene ha quindi una forma molecolare che prescinde dal campo di interazione, con la capacità di legarsi sia ai cloni "bianchi" che ai cloni "neri": nel modello saranno inserite due forme quadrate identiche "bianche" e "nere", rappresentanti le due classi di antigeni.

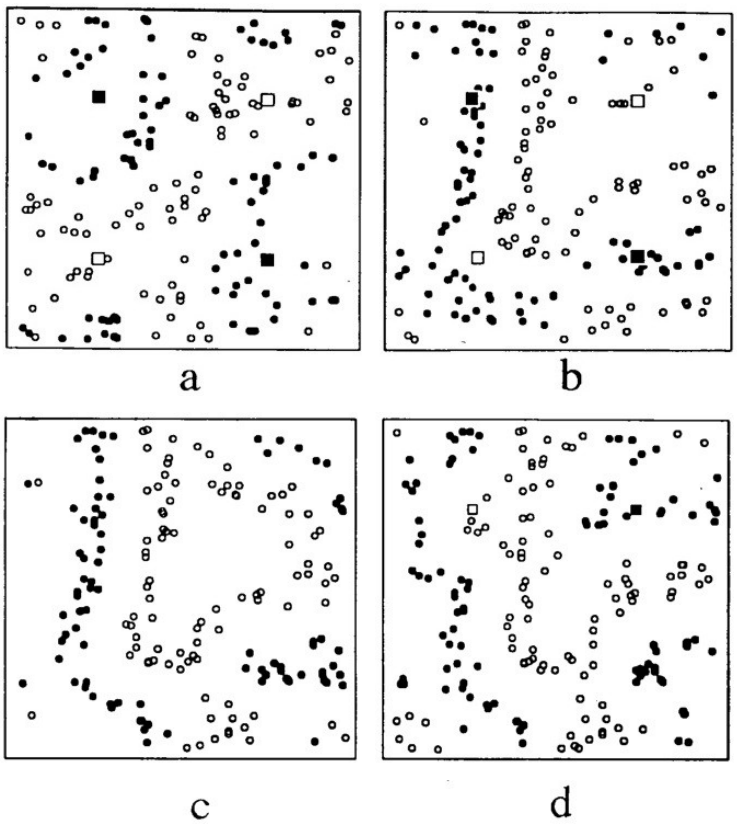


Figura 3

Con l'inserimento dell'antigene nel modello (forma quadrata), il principio di auto-organizzazione precedentemente evidenziato dal network:

- è mantenuto anche in presenza dell'antigene, progressivamente incorporato in catene del medesimo colore (fig. 3 a-b);
- l'ordine raggiunto permane una volta eliminato l'antigene dal modello (fig. 3c);
- la reintroduzione in una posizione diversa, porta la rete alla riorganizzazione del network e a una disposizione finalizzata all'accoppiamento tra catene e antigene del medesimo colore (fig. 3 d).

Cognizione come sistema capace di azione e percezione

La definizione di cognizione proposta da Stewart e Varela afferma che ogni sistema cognitivo superiore emerge da questa forma elementare, implicita nel concetto di autopoiesi. Il cambiamento nell'ambiente (presenza dell'antigene) è percepito dal sistema, il quale muta i propri stati interni in conseguenza, regolati dalle proprietà auto-organizzanti del sistema stesso. Il vincolo a cui l'azione è subordinata è il mantenimento dell'omeostasi pena la disintegrazione dell'organismo. Il sistema immunitario ha due possibili tipologie di funzionamento: la prima è la modalità classica, che si attiva al presentarsi di un antigene esterno che viene distrutto dallo specifico linfocita attivato, mentre la seconda è la modalità di rete che agisce inglobando l'antigene autoprodotto; invertendone il campo d'azione, la modalità di rete potrebbe non essere efficace contro agenti esterni, e per contro, la risposta classica potrebbe innescare una risposta auto-immune, altrettanto distruttiva.

L'attivazione della risposta immunitaria classica o di rete è di tipo cognitivo, supportata da dati empirici, ma ciò che resta da comprendere è a quale livello organizzativo questa cognizione emerga. Come precedentemente esposto (Cohen, 1995) non è possibile rilevare localmente alcuna informazione dalle interazioni tra cellule e molecole in grado di distinguere tra self (attivazione del network o Sistema Immunitario Centrale) e non-self (attivazione della risposta immunitaria o Sistema Immunitario Periferico) poiché le forze fisico-chimiche in azione sono della medesima natura. Poiché l'individuo è geneticamente unico e differisce da entrambi i genitori, l'identità immunitaria deve poter risultare da un processo di *apprendimento* epigenetico dove il

livello minimo in cui l'interazione acquisisce significato corrisponde all'accoppiamento tra percezione e risposta conseguente, basata su categorie ontogeneticamente definite dal funzionamento del sistema immunitario stesso.

Il sistema immunitario, sottostando a vincoli rigidi, "*percepisce, apprende e adatta il proprio comportamento ad aspetti di una realtà che è stata solamente portata all'esistenza attraverso la partecipazione della propria attività cognitiva. Per riassumere: l'oggetto e il soggetto della cognizione immunitaria sono inseparabili* (Stewart, 1993)".

Ripetizione della ripetizione: una sintesi

Avendo assunto la ripetizione linguistica come quesito iniziale, è certamente utile riassumere quanto discusso attraverso una sintesi dei punti principali:

- data la difficoltà di una descrizione fenomenologica in ambito linguistico è stato considerato il meccanismo della ripetizione in ambito biologico, grazie al contributo teorico dell'autopoiesi di Maturana e Varela;
- nella teoria autopoietica ogni organismo ha una propria struttura organizzativa dotata di cognizione, cognizione intesa come sequenza determinata e ripetuta dei processi necessari al mantenimento dell'omeostasi dello stesso, unico scopo di ogni forma vivente;
- l'individuo, l'unità organizzativa, raggiunge la complessità mediante l'aggregazione di diverse unità autopoietiche (accoppiamento allopoietico), formando a sua volta una nuova tipologia di unità autopoietica con una propria struttura e organizzazione;
- l'aumentare della complessità dell'organismo (es. SNC) fa emergere nuovi domini di azione (es. linguaggio) come prodotto dell'interazione tra unità autopoietica e ambiente;
- ogni dominio emergente è basato sui medesimi meccanismi generativi, sintassi e semantica: la sintassi stabilisce l'ordine e le relazioni della struttura organizzativa mentre la semantica espande la cognizione autopoietica attraverso l'interazione con l'ambiente;
- per quanto un dominio presenti caratteristiche di forma e campo d'azione peculiari, ogni dominio è in rapporto di *analogia* con gli altri per le ragioni esposte al punto precedente, consentendo di riportare in ambito linguistico quanto approfondito nel contesto bio-*logico* (Varela, 1991).

Parte seconda

Ripetizione e riafferenza

Cognizione come azione e percezione: il cervello ha un corpo

In "The Brain From Inside Out" il neuroscienziato ungherese Buzsáki (2019) espone il proprio pensiero sui meccanismi di funzionamento cerebrale, in accordo con le proposte teoriche di Maturana e Varela. Egli osserva come la maggior parte della ricerca in neuroscienze risenta di un approccio metodologico basato ancora sul rapporto causale stimolo-reazione, ormai insufficiente e fuorviante per la corretta comprensione della materia.

Il rapporto di causalità è il principio fondante dell'approccio scientifico classico, il quale è stato traslato nell'ambito della psicologia sperimentale con un lavoro di ricerca volto alla definizione dei fenomeni percettivi e i costrutti psicologici correlati. Nonostante l'avvento di nuove tecniche di indagine in grado di verificare il livello di attivazione cerebrale a un dato stimolo sperimentale - consentendo in questo modo il superamento dei limiti legati alla soggettività delle risposte negli studi psicologici - Buzsáki sottolinea come nella sostanza non sia cambiato il paradigma di ricerca, vero limite oggettivo, ancora finalizzato alla ricostruzione dei processi rappresentazionali della mente innescati dal dato percettivo ovvero *dalla priorità della componente sensoriale afferente lo stimolo* rispetto alla componente motoria, efferente la risposta. Il paradigma percezione-azione, finora soddisfacente, non è più adeguato per la corretta interpretazione dei dati sperimentali osservati e necessita un'inversione di prospettiva in cui il SNC, inteso come organismo autopoietico, sia posto come punto di riferimento interpretativo strutturato e auto-organizzante, dotato di una propria semantica e sintassi in analogia con la struttura del linguaggio naturale.

Il SNC non è un organismo passivo che agisce in risposta a una perturbazione dell'ambiente ma piuttosto un sistema in costante attività omeostatica che elabora le risposte innescate dalle proprie azioni e le ricalibra sulla base di uno schema intrinseco specie-specifico acquisito ontogeneticamente. In sintesi, *è l'azione indotta dall'attività omeostatica a produrre la percezione*, attraverso la quale il SNC acquisisce informazioni, salienza e attribuzione di significati dall'ambiente con cui è accoppiato.

In analogia al sistema immunitario, in cui il repertorio individuale viene selezionato epigeneticamente rispetto ai genitori, il Sistema Anticipatorio del SNC, definito ontogeneticamente, consente l'espansione delle relazioni SNC-Corpo-Ambiente

mediante il costante confronto tra valore anticipatorio previsto ed esito rilevato conseguente all'azione, processo finalizzato all'acquisizione del repertorio di esperienze necessarie al proprio comportamento adattivo, unico e peculiare per ogni individuo.

Chiel e Beer (1997) osservano come il comportamento adattivo – definito "come un comportamento che migliora la sopravvivenza e la riproduzione di un animale" – sia conseguente alla co-evoluzione e co-sviluppo del sistema nervoso e della struttura corporea nonché alla reciproca interdipendenza tra SNC, corpo e ambiente tramite un costante processo di rielaborazione dei segnali efferenti e afferenti. Il co-sviluppo consente la definizione di mappe neurali sensoriali e motorie e un'appropriata corrispondenza con la struttura fisica dell'organismo, connessioni neuronali la cui plasticità permette il mantenimento delle corrispondenze al variare delle proprietà fisiche, anche in età adulta (Nudo et al, 1996). Il progredire degli studi multidisciplinari ha posto in evidenza come la comunicazione neuro-sensoriale non si limiti alla semplice trasmissione del segnale ma sia invece condizionata a ulteriori elaborazioni, in ingresso – ad esempio la capacità del corpo di filtrare e amplificare determinati stimoli uditivi (Michelsen et al., 1994) – o in uscita – come nel caso della capacità dell'apparato muscolare di filtrare output neurali ad alta frequenza (Partridge, 1966) – originata e prodotta dalle reciproche interazioni tra ambiente, corpo e cervello.

L'originalità del contributo di Buzsáki consiste nel riproporre il SNC come struttura autopoietica cognitivamente proattiva, interconnessa e indivisibile dal corpo mediante il quale agisce nell'ambiente in cui si è evoluto. L'agire, in ogni suo dominio, è il meccanismo basico del comportamento adattivo orientato all'esplorazione e al controllo dell'ambiente, *in assenza del quale vengono meno percezione e cognizione*. Il prevalere dell'azione rispetto alla sensorialità può essere considerato evolutivamente osservando come l'abbinamento di cellule muscolari e cellule nervose compaia inizialmente nella medusa, il cui approvvigionamento di cibo è condizionato al movimento o come nel caso del tunicato, altra specie marina, che allo stato larvale si muove attivamente alla ricerca di un sito adatto ove stabilirsi ma una volta individuatolo la componente motoria diviene superflua sicché nel corso dello sviluppo successivo digerisce la maggior parte del sistema nervoso, a quel punto non più necessario (Llinas, 2002).

Come ulteriore argomentazione a sostegno della centralità del SNC, Buzsáki cita le

evidenze relative agli studi sulla stabilizzazione retinica (Yarbus, 1967) in cui lo stimolo test, riflesso da una lente a contatto sulla quale è applicata uno speciale specchio, resta ancorato alla superficie della retina nonostante la possibilità di movimento oculare da parte del soggetto. La prolungata stimolazione dei recettori retinici provoca la scomparsa dello stimolo, dovuta all'adattamento neurale: "*Confrontando con la normale visione degli stessi oggetti di prova si è scoperto che quando vengono presentati per la prima volta, le linee più sottili vengono viste con una acutezza normale o leggermente migliore ma entro pochi secondi le linee iniziano a scomparire ed entro un minuto anche le linee più grossolane vengono viste solo a intermittenza. I risultati possono essere interpretati in termini di adattamento retinico locale a un campo stazionario*" (Riggs et al., 1953). L'effetto scoperto da Troxler nel 1804 è un'altra prova a supporto della tesi di come l'azione sia il necessario prerequisito percettivo: fissare con lo sguardo un punto all'interno di un'immagine porta progressivamente alla perdita del circostante campo visivo essendo i micro spostamenti oculari insufficienti allo spostamento dell'immagine su nuovi recettori (Martinez-Conde et al., 2004), questo fino alla chiusura delle palpebre o al movimento saccadico successivo.

Che l'esperienza percettiva non sia la perfetta rappresentazione della realtà ma piuttosto una approssimazione sufficiente delle percezioni ambientali è direttamente conseguente al soddisfacimento dei *vincoli significativi* imposti dalla *chiusura operativa* del sistema, ovvero da tutte le limitazioni imposte dalla struttura psicofisica dello stesso (ad esempio, la possibilità di apertura delle dita della mano è limitata alla distensione delle stesse a causa dei vincoli imposti a livello di articolazione e fasce tendineo-muscolari). Sebbene i movimenti saccadici controllati dalla muscolatura oculare siano i più reattivi di tutto l'apparato muscolo-scheletrico umano con un tempo di reazione di 20-30 ms rispetto ai valori espressi dalle altre fasce muscolari, da 50 ms a centinaia di ms, tale intervallo obbliga il SNC a una "ricostruzione credibile" dell'immagine visiva.

Ad esempio, l'illusione del movimento apparente (fenomeno *Phi*), descritto da Wertheimer nel 1912, si esplica con la discretizzazione del segnale, in cui la persistenza dell'immagine iniziale si sovrappone alla successiva dando la sensazione del movimento quando l'intervallo di separazione è di circa 60 ms. L'esperimento si basa sull'intermittenza con intervallo variabile di due palline illuminate alternativamente: al

di sotto dei 60 ms le due palline vengono percepite come accese in simultanea ma con l'aumento progressivo dell'intervallo la separazione appare in modo sempre più chiaro. A 60 ms si verifica l'illusione di un'unica pallina in movimento tra le due estremità e se le due palline sono colorate diversamente si ha anche l'illusione della transizione cromatica, percepita 25 ms prima dello stimolo reale in accordo con i tempi relativi alle saccadi oculari, a riprova del lavoro di elaborazione e di anticipazione del dato sensoriale da parte del SNC.

Come altro esempio della complessità di elaborazione dello stimolo da parte del SNC, studi sulla corteccia visiva del topo hanno verificato come il singolo neurone della corteccia primaria non trasmetta il segnale solo in direzione di un'unica area di proiezione ma lo distribuisca contemporaneamente verso una ampia area di sottoclassi corticali definendo così molteplici percorsi funzionali e gerarchici (Han et al., 2018; Harris et al., 2018). Petreanu et al. (2012) hanno osservato come l'integrazione somatotopica tra aree sensoriali e aree motorie consenta al topo di acquisire informazioni tramite le vibrisse relative alla posizione e alle caratteristiche dell'oggetto di test. Con il SNC in costante attività auto-organizzata sia in stato di veglia che in stato di riposo, diventa poco plausibile correlare tale attività unicamente a input sensoriali. Stringer et al. (2018), nell'ambito di studi neurofisiologici compiuti sui topi, hanno osservato come in assenza di stimoli tale attività sia coerente secondo molteplici dimensioni quali movimenti del corpo, movimenti orofacciali, movimenti delle vibrisse, dilatazione della pupilla. Concludono ipotizzando che l'integrazione ininterrotta di informazioni sensoriali e motorie consente all'animale di operare la selezione comportamentale più appropriata in base agli input sensoriali disponibili e alle variabili motivazionali interne. I dati raccolti permettono di confermare che tale integrazione multidimensionale avviene già a partire dalla corteccia primaria.

Cognizione come azione e percezione: il principio di riafferenza

Dato il rapporto tra azione e sensorialità, ci si deve chiedere come e a quale livello il processo autopoietico del SN diventi cognitivo, poiché "le informazioni non sono intrinseche al calcolo ma lo diventano quando vengono interpretate (Buzsáki, pag. 28)".

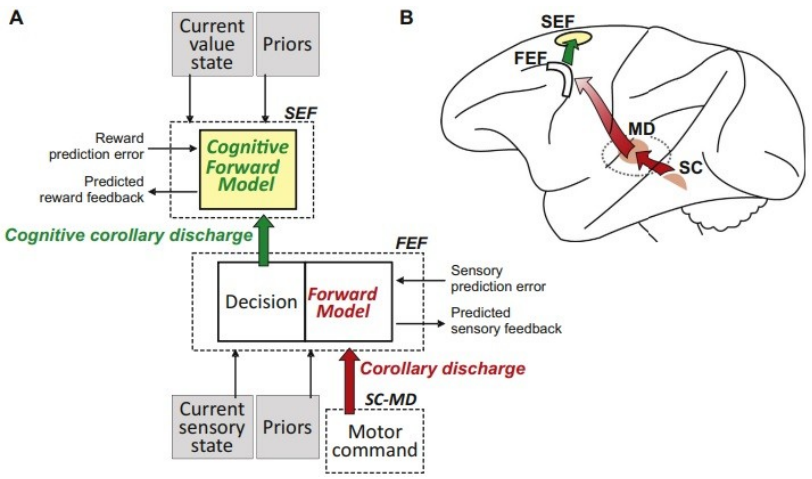
Affinché questo possa avvenire è necessario che il segnale in ingresso possa essere comparato con un dato di riferimento, attraverso un'operazione definita di "messa a terra" (grounding). Ne "Il principio della riafferenza", Von Holst e Mittelstaedt (1950) osservano l'interdipendenza delle connessioni nervose in pesci e invertebrati e sostengono che questo possa essere una caratteristica comune ad ogni SN animale, a prescindere dalla complessità del sistema. Nello stesso anno Sperry (1950), in uno studio con soggetti umani, osserva come l'illusione di stabilità della visione, nonostante il movimento, sia dovuto a un meccanismo anticipatorio del cervello, frutto della comunicazione in essere tra sorgente del segnale e aree deputate al controllo della visione. Nel sistema motorio, ogni comando inviato al muscolo viene replicato e inviato alle altre aree corticali, la copia efferente o "scarica corollaria", consentendo al cervello di confrontare un valore *a priori,* codificato internamente, con il comando motorio in atto, e la successiva ricalibrazione in funzione del valore afferente a livello sensoriale. L'informazione ottenuta è la *cognizione necessaria* alla definizione del comportamento adattivo dell'organismo, la cui necessità primaria è la distinzione tra movimento proprio (la continuità della visione nonostante il movimento oculare) e movimento presente nell'ambiente esterno (dovuto, ad esempio, alla presenza di un predatore).

Una modalità di funzionamento innescata dalla scarica corollaria è di tipo backward, all'indietro, e consente il calcolo per la transizione da uno stato iniziale a uno desiderato mentre la seconda è una modalità forward, che utilizza anche altre informazioni sensoriali e cognitive al fine di prevedere le conseguenze del movimento attraverso una ampia condivisione sia corticale che in profondità, a livello subcorticale, fino al singolo neurone. I modelli forward di previsione sono relati ai modelli backward, i quali possono effettuare una correzione del movimento o al movimento successivo di una sequenza sulla base delle informazioni ricevute, definendo la circolarità del processo. I meccanismi di scarica corollaria e relativi modelli anticipatori rappresentano quindi la connessione necessaria al SN per agire nell'ambiente tramite il corpo.

Il movimento saccadico è da lungo tempo oggetto di studio in quanto rappresenta un modello sufficientemente semplice ed esplicativo dei meccanismi di comunicazione neuronale (Wurtz et al., 2000). Le saccadi hanno la funzione di spostare l'immagine sulla retina al fine di mantenere la continuità della visione, ma allo stesso tempo attuano meccanismi predittivi finalizzati alla distinzione tra il movimento indotto dalle saccadi e il movimento di un oggetto presente nel campo visivo. Entrambi i compiti vengono realizzati tramite la scarica corollaria ed è stato dimostrato come nei primati la comunicazione avvenga tramite un singolo percorso dal tronco encefalico alla corteccia frontale (Sommer et al., 2008). Il circuito neurale coinvolto nel controllo saccadico nei primati inizia con un comando motorio originato dal Collicolo Superiore (SC) del tronco encefalico, trasmesso al Talamo Medio Dorsale (MD) e destinato al Campo Oculare Frontale (FEF), le cui registrazioni hanno confermato come il segnale trasmesso sia relativo alle informazioni *temporali* – quando avverrà la saccade – e *spaziali* – dove si troverà il campo visivo – (Sommer e Wurtz, 2004). Quanto osservato nei primati trova conferma anche nel funzionamento del SNC umano.

Poiché la comparsa delle funzioni cognitive superiori nei primati è stata correlata all'evoluzione del comportamento orientato agli obiettivi e alla progressiva rappresentazione corticale dello stato corporeo (Cruse, 2003), e la scarica corollaria è alla base di questa circolarità, Subramanian e colleghi (2019) hanno proposto che tali modelli backward e forward possano essere considerati un principio generale la cui finalità è di carattere informativo e relativo ad aggiornamenti di stato. È stato osservato in studi interspecie come nei processi decisionali sia presente una componente di automonitoraggio, la cui funzione informativa supporta i compiti decisionali sulla base degli esiti precedenti (Middlebrooks e Sommer, 2011). Il modello cognitivo forward consente di generare previsioni sulle conseguenze del valore di una decisione confrontando una situazione conosciuta (*prior*, fornita dal modello backward) con quella progettata dal comando decisionale: l'errore di previsione della ricompensa costituirebbe un fattore importante nelle strategie di apprendimento data la conseguente necessità di riaggiornare le successive previsioni per adattarle all'esito riscontrato. Il circuito attivato in questa tipologia di compito include anche il Campo Oculare Supplementare (SEF), non direttamente coinvolto nella generazione del movimento

oculare saccadico ma attivo nel processo di automonitoraggio delle decisioni e di ricompensa, in termini di previsione, errore e risultato. Il Campo Oculare Frontale (FEF) oltre che essere il centro per l'elaborazione senso-motoria oculare potrebbe essere a sua volta, unitamente ad altre aree, la fonte di un *segnale di scarica corollaria cognitiva*, come modello di funzionamento cognitivo (Stanton et al., 1993). Poppel et al. (2012) indicano il meccanismo di riafferenza come il presupposto necessario al mantenimento dell'omogeneità dello stimolo visivo percepito rispetto alla alla varietà di programmi oculomotori richiesti per il rilevamento di stimoli perifoveali, ognuno dei quali attiva programmi attentivi diversi. Secondo gli autori, la corteccia parietale posteriore (PPC) oltre a svolgere un ruolo fondamentale al mantenimento della stabilità visiva potrebbe anche integrare funzioni cognitive superiori come selezione di obiettivi nel campo visivo, intenzionalità e attenzione.



Da *Corollary Discharge for Action and Cognition*, Divya Subramanian, Anthony Alers, and Marc A. Sommer (2019).

Specchio: *lat.* SPÈCULUM che tiene alla stessa base di SPÈCIO *io guardo*: propr. *ciò che serve a guardare* (v. *specie*).
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=specchio

Speculare: *lat.* SPECULÀRE da SPÈCULA, *luogo dal quale si osserva*, ed anche *osservazione*.
Osservare attorno, esplorare; far progetti, calcoli.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=speculare

Riflettere: *lat.* REFLÈCTERE, *ripiegare, rivolgere* (sottint. *mente*).
Da locuzione latina "reflèctere animum".
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=riflettere

Modelli computazionali

Le varie ipotesi relative al funzionamento dei meccanismi cognitivi del SNC vengono testate su reti "neurali", reti informatiche in grado di fornire una simulazione verosimile dei processi biologici. Uno degli obiettivi è rappresentato dalla definizione di un modello predittivo in grado di interpretare correttamente il ruolo del meccanismo della scarica corollaria. Rao et al. (1999) hanno creato un modello di codifica predittiva in grado di replicare comportamenti non ordinari relativi al campo recettivo di specifici neuroni della corteccia visiva. Alcuni di questi neuroni mostrano una risposta di intensità variabile condizionatamente alla direzione di una linea presente nel campo visivo, con una risposta ottimale rispetto a uno specifico orientamento. Questi neuroni, presenti in gran numero negli strati corticali 2 e 3, mostrano un comportamento particolare attenuando o sopprimendo la risposta ottimale quando lo stimolo si estende oltre il campo recettivo del neurone. Ciò avviene principalmente quando le proprietà dello stimolo – come orientamento, velocità o direzione – corrispondono a quelle del campo extra-recettivo circostante. Usando altri termini: quando le *qualità gestaltiche* del campo recettivo rimangono immutate, le informazioni da trasferire per l'elaborazione dell'immagine vengono compresse. Questo particolare effetto si verifica nelle aree corticali visive V1, V2, V4 e nella corteccia Medio Temporale. Nella simulazione realizzata da Rao et al., questo effetto viene ottenuto tramite l'apprendimento delle regolarità statistiche del mondo naturale, in cui le eventuali difformità rilevate vengono riportate ai livelli di elaborazione superiori da un sottoinsieme di "neuroni" responsabile del trasporto degli errori residui. In questo modo vengono rimossi i valori prevedibili riducendo la ridondanza dei segnali di input. Lo studio si conclude con la considerazione che l'idea generale di codifica predittiva possa essere applicabile a diverse regioni e modalità cerebrali, volta alla comprensione della struttura e della funzione della neo-corteccia.

La *teoria dell'emulazione della rappresentazione* di Grush (2004) propone che una delle funzioni principali del cervello sia la costituzione di circuiti neurali in grado di rappresentare il corpo e l'ambiente, così da poterne emulare le risposte in funzione delle possibili interazioni. Il framework di Grush prevede che l'emulatore – il modello – costituisca la base sia per l'*esplorazione* dell'ambiente da parte del corpo (modalità on-

line) che per la capacità di *immaginazione* dell'esperienza, sganciata da input sensoriali (modalità off-line): il processo di emulazione non muta in funzione dell'esecuzione o meno del piano motorio ideato. Il controllo motorio costituisce la base di partenza su cui fondare la teoria in quanto i dati disponibili confermano l'esistenza di un segnale efferente di attivazione, un segnale afferente la risposta sensoriale, un segnale di simulazione dello schema motorio in grado di fornire al SNC il controllo immediato necessario alla corretta esecuzione del compito. Crapse e Sommer (2012) hanno verificato che i neuroni del campo oculare frontale (FEF) seguono le variazioni di movimento di una sonda durante la saccade. Wolpert et al. (1995) hanno cercato di individuare come il SN elabori le informazioni necessarie alla stima della posizione del corpo in movimento considerando nel modello le tre diverse modalità efferente, afferente ed emulativa. Lo studio mostra come l'assenza di un segnale *a priori* di riferimento porti a una sovrastima corporea propriocettiva e cinestesica (amodale) causata dalla latenza del segnale afferente, con un errore crescente tra 0,5 e 1 secondo, e successiva diminuzione grazie alle informazioni periferiche di ritorno. Gli autori suggeriscono che l'integrazione dei due segnali in un dato immediatamente disponibile, acquisito e codificato mediante precedenti esperienze, possa costituire l'elemento necessario al continuo monitoraggio dell'accoppiamento tra SNC, corpo e ambiente. Jeannerod et al. (1999) rilevano come l'immaginazione motoria possa essere riconducibile anche ad altre forme di immaginazione, come il riconoscimento di oggetti, l'apprendimento mediante osservazione, la comprensione del comportamento sociale. Ognuna di queste forme attiva subliminalmente la corteccia motoria primaria e altri circuiti neurali correlati, a sostegno dell'ipotesi che l'azione sia la condizione necessaria per la cognizione, come sostenuto dall'approccio interno-esterno di Varela e Buzsáki. Un ulteriore considerazione proposta da Grush attiene alla modalità utilizzata in riferimento all'ottimizzazione del segnale, distinguendo un emulatore amodale (neurale) dall'informazione modale del segnale sensoriale afferente. Come visto nello studio di Rao et al. (1999), la soppressione di stimoli simili fa in modo che solo una parte del segnale in ingresso venga misurato e confrontato con la previsione (modale) poiché l'intero input visivo della retina viene trasmesso da una popolazione di circa 10^6 cellule gangliari (Curcio et al., 1990) con una frequenza di attivazione di circa 1 Hz (Warland et al., 1997), un numero insufficiente per sostenere l'onere di un'informazione prettamente sensoriale.

Ad oggi sono stati proposti modelli predittivi di azione motoria applicabili a strutture anatomiche differenti e specializzate, tra cui l'articolazione relativa al linguaggio. Il modello di produzione linguistica DIVA (Tourville e Guenther, 2011) riproduce l'attività neurale specifica del parlato e la lateralizzazione destra e sinistra tipica, generando predizioni sulla base di indizi acustici (es. formanti), somatosensoriali (es. articolazione), frequenza di apprendimento e tipo di attività. L'integrazione tra test sperimentali e riscontro con i dati empirici presenti in letteratura consente l'ulteriore perfezionamento del modello di previsione.

en-: Particella greca che nei composti ha senso di *in*, ovvero è intensiva e talora pleonastica. Es.: encefalo, encomio, enfasi, ecc.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=en

tròpo: *lat*. TRÒPUS, dal *gr.* TRÒPOS, *volgimento*, che connettesi a TRÈPEIN *volgere* e indi *cambiare*.
- Figura retorica per la quale si volge, si cambia il significato di una parola dal proprio ad altro significato: altrimenti *metafora*.
- Nella liturgia ecclesiastica, versetto cantato inserito tra due canti maggiori per alternare, indi genericamente *variazione*, *differenza*.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=tropo

tropismo: [der. di *tropo*-].
In biologia, *movimento orientato* di un organismo, animale o vegetale, o di una sua parte, determinato dall'azione di uno stimolo esterno (luce, temperatura, umidità, gravità, fattori chimici, ecc.).
https://www.treccani.it/vocabolario/tropismo/

in: nel senso di e*ntro*, proposizione indicante la relazione tra contenente e contenuto, nel dominio e similitudine di un altro. Con l'idea di moto esprime il concetto di dirigersi verso o su qualche cosa.
https://www.etimo.it/?term=in

...fero: suffisso tolto al latino, col senso di *portare*, *produrre*, dal g*r.* PHÈRÒ *io porto*.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=fero

infero: *lat*. ÌNFERUS, ÌNFER, *basso*, *sottostante.* Si usa per lo più al plurale per significare I luoghi sotterra, ove pei gentili stavano le ombre dei morti, l'Inferno.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=infero

inferire: dal *lat*. ÌNFÈRRE, composto di IN, c*ontro*, *verso,* e FÈRRE, *portare*.
Portar contro, ammenare (una percossa); portare, tirare una conclusione.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=inferire

Ripetizione come apprendimento

La struttura neurale del SN è organizzata in modo tale che le informazioni sensoriali in arrivo rappresentino quantità condizionate da fattori ambientali e soggettivi – come l'esempio visto in precedenza a proposito degli effetti di soppressione del campo recettivo extra classico (Rao et al., 1999) – dove invece una esatta rappresentazione dello stimolo quantificato costituisce l'eccezione alla regola. Molte ricerche, compiute soprattutto nel campo della visione, mostrano come lo stimolo sensoriale e l'elaborazione percettiva da parte del SN possa mutare in funzione di aspettative e previsioni legate al contesto percettivo: le connessioni feedforward, che trasmettono informazioni in ingresso, interagiscono con le connessioni orizzontali e di feedback, interconnesse con ampie aree corticali atte alla modulazione di tali effetti contestuali (Lamme et al., 1994).

Nella fase iniziale di ricerca sulla modellazione computazionale, Marr (1982) propone alcuni requisiti ritenuti necessari affinché il modello matematico possa rappresentare efficacemente e in modo realistico il funzionamento del processo corticale visivo. Marr "*sostiene che la visione consiste nella costruzione di descrizioni simboliche efficienti a partire da immagini del mondo*", in cui stimolo sensoriale ed elaborazione visiva finale procedono attraverso tre successivi livelli di rappresentazione: il primo livello include una bozza relativa alla forma bidimensionale dell'immagine e alle variazioni di intensità; il secondo livello implementa il dettaglio di profondità dell'immagine dal punto di vista dell'*osservatore*; il terzo livello include la rappresentazione tridimensionale incentrata sull'*oggetto*, con la definizione della sua struttura e organizzazione. È interessante notare la similitudine con quanto espresso da Maturana e Varela a proposito del ruolo dell'osservatore, le cui descrizioni trovano validità solo all'interno del proprio dominio conoscitivo dove anche Marr vincola la capacità descrittiva dell'oggetto al dominio dell'oggetto stesso. Conclude affermando che per procedere con la costruzione del modello è necessario individuare i *vincoli* della struttura – imposti dalla *chiusura operativa* dell'organizzazione – in grado di fornire le informazioni utili alla descrizione del fenomeno oggetto di interesse; solo successivamente è possibile formulare una corretta teoria computazionale e individuare gli algoritmi adatti alla descrizione desiderata.

Atttualmente i meccanismi di funzionamento neurale trovano una corrispondenza adeguata negli algoritmi di codifica predittiva e nel modello predittivo bayesiano. La codifica predittiva si basa sulla definizione di errore di previsione, risultante dalla semplice differenza tra la misura dello stimolo in ingresso e il valore di predizione di scarica corollaria, ovvero:

errore di previsione = input – input atteso.

Il teorema di Bayes lega la probabilità condizionata del verificarsi di un evento, o *aspettativa*, alla probabilità teorica, detta *a priori*, come ad esempio nel caso del lancio di un dado a sei facce, in cui l'esito di ogni faccia ha egualmente 1/6 di probabilità complessiva (a priori): il ripetersi di una delle sei facce all'interno di una serie di sei lanci porta a un venir meno delle aspettative sia nel caso del numero uscito (2/6) che nel caso del numero assente (0/6), rispetto ai valori *a priori* relativi (1/6).

Uno studio di revisione compiuto da Summerfield et al. (2014) evidenzia come le aspettative e le previsioni diano forma all'attivazione neurale e alle conseguenti risposte comportamentali, e come tali risposte possano essere a loro volta rappresentate mediante un modello predittivo di inferenza bayesiana.

Aitchison et al. (2017) attribuiscono all'inferenza bayesiana una capacità descrittiva di carattere generale, come definita al primo livello da Marr, e alla codifica predittiva la descrizione dal punto di vista dell'*osservatore*, come definita al secondo livello. Poiché le rispettive caratteristiche sono sovrapponibili, la complementarietà di questi due approcci può rappresentare un unico framework predittivo in grado di interpretare efficacemente il meccanismo percettivo neurale.

bias: [dal *fr.* e *provenz. ant.* biais *obliquo*, di etimo incerto].
Termine che significa propriam. obliquo, inclinato, e, come sost., obliquità, inclinazione, *tendenza*.
https://www.treccani.it/vocabolario/bias/

Il principio di energia libera

Il principio di energia libera è un modello computazionale proposto da Karl Friston (2010) il cui intento è di codificare azione, percezione e apprendimento tramite il calcolo di un unico indice di riferimento, l'energia libera, ovvero l'ottimizzazione del residuo della differenza tra segnale sensoriale afferente e rispettivo valore *a priori* di emulazione. Il SNC presenta forme di comunicazione neurali diversificate a seconda della tipologia di neuroni e strutture corticali, rappresentate da modelli computazionali distinti: Friston propone il *cervello bayesiano* come una teoria in grado di ricondurre i vari modelli al medesimo processo statistico di ottimizzazione.

La teoria autopoietica afferma che ogni organismo vivente mantiene la propria auto-organizzazione attraverso un processo di omeostasi, di conseguenza il rispetto di tale equilibrio è possibile solo con minimi cambiamenti rispetto alla totalità degli stati possibili poiché una fluttuazione eccessiva porterebbe al venir meno della struttura e quindi alla propria *dis*-integrazione. La teoria predittiva di Friston traduce il meccanismo biologico di omeostasi in un processo probabilistico di inferenza bayesiana, mediante il quale il SNC elabora l'ipotesi più accurata rispetto al contesto di azione sulla base di aspettative ed informazioni sensoriali in modo da ridurre al minimo la discrepanza rispetto all'esito percettivo finale. Il mantenimento dell'omeostasi di ogni sistema *bio*-logico è caratterizzato da bassa entropia, ovvero una scarsa tendenza al cambiamento di stati dove l'aspettativa, o valore atteso, definisce l'informazione media di stato (*utilità* o *ricompensa*) mentre lo scostamento dallo stato sensoriale afferente definisce l'errore di previsione o, secondo la terminologia adottata, la *sorpresa*.

La caratteristica principale della teoria, rispetto al tema e all'impostazione di questo lavoro, è l'approccio di tipo outside-in basato sulla sensorialità in relazione a un modello a priori interno, costituito dagli indici statistici di *densità di riconoscimento* e *densità condizionale*. L'indice di densità di riconoscimento, o *densità di approssimazione condizionale*, rappresenta la distribuzione di probabilità relativa alle cause (aspettative) che hanno generato il campione di input sensoriale; l'indice di densità condizionale rappresenta invece la distribuzione di probabilità generata dal modello in base ai campioni (sampling) di input sensoriali raccolti.

La stessa configurazione sensoriale può produrre percezioni diverse, come nel caso,

ad esempio, di figure ambigue o nel rapporto figura/sfondo, ma il meccanismo di elaborazione del SNC è il medesimo, ovvero l'attribuzione probabilistica di significato secondo un modello generativo gerarchico, in cui l'esistenza di un rapporto causale tra stimolo e percezione viene mantenuto anche ai diversi livelli di elaborazione. Il processo di inferenza attiva porta quindi l'*agente* a selezionare solo la configurazione sensoriale attesa e conosciuta.

Il valore espresso dall'indice di densità condizionale fa riferimento alle unità statistiche del campione probabilistico degli stati sensoriali esperiti (non al singolo campionamento), lasciando aperta la questione relativa al "sampling sufficiente", ovvero il numero di campioni necessario alla modifica della statistica di tale indice: nel caso del dado a sei facce, sicuramente 3 esiti consecutivi identici non sono in grado di mutare il valore della previsione, un aspetto questo non meglio specificato da Friston nell'esposizione della teoria.

In sintesi, il principio dell'energia libera considera come vengono generati i dati sensoriali e la densità di riconoscimento dei parametri del modello prodotti dal campione sensoriale. L'ottimizzazione dell'energia libera avviene o modificando la distribuzione di probabilità della densità di riconoscimento, in modo da variare le aspettative relative al campione di input, oppure attraverso un "sampling sufficiente" ad applicare una modifica nella distribuzione di densità condizionale.

Un esempio concreto di questo processo trova riscontro nella riabilitazione cognitiva descritta più avanti, in cui il recupero motorio del paziente avviene mediante la definizione di nuove inferenze propriocettive e cinestesiche, e il progressivo miglioramento dell'accuratezza di tali previsioni condizionate allo stimolo afferente.

emo-: dal *gr.* αἷμα *sangue*.
Primo elemento di termini composti derivati dal greco o formati modernamente, che significa *sangue*, *di sangue*, *sanguigno*.
https://www.treccani.it/vocabolario/emo/

azióne: s.f. [dal lat. *actio -onis*, der. di *agĕre* agire, p.p. *actus*].
L'agire, l'operare, in quanto espressione e manifestazione della volontà; s'identifica ora con *atto*, ora con *attività* (considerata nella sua durata e contrapposta spesso a *pensiero*, oppure a *passività*, *inerzia*).
https://www.treccani.it/vocabolario/azione/

emoziòne: dal *lat*. EMOTIÒNEM, da EMÒTUS p.p. del verbo EMOVÈRE.
Trasportar fuori, smuovere, scuotere.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=emozione

affètto: dal *lat*. AFFÈCTUS, p.p. del verbo AFFÌCERE, *toccare*, c*ommuovere lo spirito,* e per estensione *attaccare*, *rendere infermo* (il corpo); comp. della particella AD *a*, e FÀCERE *fare*, *operare*, *agire*, *produrre*.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=affetto

attenzióne: s.f. [dal lat. *atentio -onis*, der. di *attendĕre*, rivolgere l'animo].
Atto di rivolgere e applicare la mente a un oggetto; processo che permette di concentrare o indirizzare l'attività psichica su un determinato oggetto, sia di ordine sensoriale, sia di ordine rappresentativo.
https://www.treccani.it/vocabolario/attenzione/

Azione, attenzione, emozione

In psicologia l'attenzione è considerata come un processo di selezione degli input sensoriali rilevanti al soddisfacimento dei bisogni e degli obiettivi dell'organismo compiuto dal SNC, processo sottostante e necessario alle funzioni esecutive della mente e funzionalmente attribuito alle aree associative della neocorteccia. Viene comunemente distinta in attenzione esogena – l'istinto naturale che porta in primo piano aspetti dell'ambiente ritenuti salienti in modo automatico (come un rumore improvviso) –, ed endogena, ovvero lo sforzo compiuto in modo volontario per osservare, ad esempio, un particolare ritenuto interessante. Come visto finora, solo una piccola parte del nostro essere nel mondo accede alla consapevolezza, ulteriore sostegno alla teoria che attribuisce al *dominio della coscienza di sé* un carattere emergente (Maturana e Varela, 1973), in cui la funzione attentiva opera prevalentemente in modo inconscio nell'accoppiamento tra organismo e ambiente. "Sottovalutiamo sensibilmente quanta parte della visione, del linguaggio e dell'attenzione possano avvenire al di fuori della consapevolezza, pertanto l'attenzione è dissociabile dall'accesso cosciente" (Dehaene, 2014). In accordo con il cambio di prospettiva fin qui riportato, Krauzlis et al. (2014) propongono il processo attentivo come sottoprodotto di circuiti dei gangli della base, in cui il passaggio tra uno stato neurale e un'altro, più proficuo in termini adattivi, consente l'emergenza dei dati sensoriali utili alla transizione ed a un'adeguata risposta comportamentale. Mentre l'interpretazione comune spiega il fenomeno attentivo con metafore come *riflettore*, *zoom*, *collo di bottiglia*, in cui l'attenzione è la causa della salienza di dati sensoriali a discapito di altri, non illuminati dal riflettore attentivo, Krauzlis e colleghi sostengono la tesi secondo la quale la modulazione dei dati sensoriali avvenga in conseguenza a meccanismi di guadagno e normalizzazione dei pesi neurali nel processo di apprendimento per rinforzo. In questo approccio l'attenzione è un filtro sensoriale emergente dal processo decisionale azione-percezione proteso al minor costo/maggior guadagno in termini di risorse o, secondo l'impostazione della *free energy theory*, all'ottimizzazione della transizione tra uno stato di partenza e quello di arrivo. Poiché ogni possibile stato assegna ai vari input pesi neuronali diversi e ogni stato rappresenta una possibile alternativa, l'attenzione funge da filtro nel selezionare lo stato più adeguato al processo di apprendimento.

Al pari dell'attenzione, le emozioni di base sono legate allo sviluppo della specie e fanno parte del corredo genetico di ogni mammifero. I meccanismi affettivi dei processi primari risiedono nelle regioni sottocorticali più profonde, simili in tutti i mammiferi sia a livello anatomico che neurochimico, in assenza di relativi indicatori istintivi nella neo-corteccia. Ciò che si può evincere con sufficiente chiarezza dalla ricerca attuale è come le emozioni primarie risiedano all'interno dei circuiti neurali che generano risposte comportamentali emotive incondizionate (Panksepp, 2011).

Sono stati proposti modelli funzionali attivati da risposte legate alla paura, al panico, alla rabbia, alla ricerca: queste emozioni vengono generate da circuiti neurali primitivi con funzioni adattive e di sopravvivenza, atte cioè a fornire all'organismo la risposta comportamentale adeguata agli stimoli provenienti dall'ambiente circostante. Data l'influenza delle emozioni di base sul comportamento dell'organismo, Panksepp (1998) le definisce *Evolutive-MOTIONS.* Il sistema della ricerca (conosciuto anche come sistema della ricompensa) ha origine nell'area tegmentale ventrale del tronco, si congiunge all'ipotalamo e raggiunge aree associative corticali come il lobo frontale e la parte anteriore del cingolo, per connettersi verso il basso all'amigdala. È legato a sensazioni come curiosità, interesse, aspettativa. Lo scopo del sistema di ricerca è di promuovere l'appagamento delle emergenze manifestate all'ipotalamo dalle modificazioni viscerali a cui è connesso. Lo stimolo manifestato è *aspecifico*, finalizzato all'adattabilità della specie all'ambiente regolato dai meccanismi di ricerca, memorizzazione e apprendimento; apprendimento inteso, quindi, come corredo genetico delle emozioni di base. Le considerazioni proposte da Krauzlis in riferimento all'attenzione possono trovare validità anche per la modulazione emotiva, operante come filtro percettivo emergente finalizzato all'ottimizzazione della transizione tra stati neurali.

> *Gli "strumenti per vivere" affettivi primordiali sono funzioni cerebrali molto antiche, intimamente integrate con le capacità comportamentali istintive e ancestralmente correlate in tutti i mammiferi. C'è ampio spazio per concetti di "sé centrale" nel terreno emotivo sottocorticale degli animali ... che ci rende tutti creature attive del mondo, in contrapposizione a semplici automi che elaborano informazioni* (Panksepp, 2011).

Neurofenomenologia ed esperienza cosciente

L'agire consapevole, ovvero l'atto del divenire consapevole e la sua definizione in ambito scientifico, rappresenta per Varela e collaboratori l'elemento prioritario di ricerca affinché l'esperienza soggettiva di auto-osservazione possa fornire elementi utili all'indagine neurofenomenologica sperimentale. Dehaene e colleghi (2011, 2014) propongono un approccio di ricerca improntato sull'*accesso cosciente* degli stimoli sensoriali, ovvero quanto e come lo stimolo ambientale possa essere percepito ed elaborato dal SNC mediante gli strumenti di indagine dell'attività neurale oggi disponibili, misure oggettive che eludono la componente soggettiva nell'analisi dei dati (secondo livello di modellizzazione di Marr) ritenuta non indagabile con criteri sufficientemente scientifici. Il criterio proposto da Buzsáki è, all'opposto, quello di una circolarità percettiva giustificata dall'azione promossa dal SNC, in cui tutto trova origine e spiegazione. Il percorso di ricerca di Varela è invece impostato sulla comprensione dell'interazione reciproca tra ambiente, corpo e SN – il principio alla base del concetto di *en*azione, *en*(vironment)-action –, sul resoconto in prima persona di una fenomenologia esperita secondo tale prospettiva e sulla modellazione computazionale delle *invarianti fenomenologiche* individuate (terzo livello di modellizzazione di Marr).

La componente affettiva proposta da Panksepp come parte di un sé centrale trova collocazione nella ricerca intrapresa dal gruppo di Varela con la definizione di un protocollo volto all'indagine dell'esperienza cosciente. In "Cosa si prova ad essere un pipistrello?", Nagel (1974) pone il problema della coscienza come l'inevitabile ostacolo che la scienza deve affrontare per una comprensione autentica della relazione mente-corpo. L'*identità emergente* dalla ricorsività dei processi auto-organizzanti e dal principio di omeostasi *è conseguente al funzionamento del sistema*, non ne è la causa, è la fenomenologia di una coscienza incarnata non identificabile con la corrispondenza tra mente e cervello. Secondo Varela, la coscienza è fondamentalmente qualcosa che si eleva dalla tonalità affettiva incarnata nel corpo, come esposto nel precedente paragrafo, attraverso l'integrazione tra attività cerebrale e risposta motoria mediante processi di sincronia neurale su larga scala (Varela et al., 2001), una dinamica in cui tutti i fenomeni cognitivi sono anche emotivo-affettivi (Varela, 1999). Il principio di base dell'*en*action

e dell'*em*bodiment è l'interdipendenza dovuta all'accoppiamento tra ambiente (*en*vironment), corpo e SNC, dove l'*atto intenzionale emerge dalla dinamica omeostatica di convergenza verso lo stato neurale più opportuno*, all'interno di "una rete operativamente chiusa di neuroni in interazione" (Varela, 1979). Il d*ynamic core* (Tononi ed Edelman, 1998) di questi processi di convergenza sono le trasformazioni specifiche e ricorrenti preferenziali, dove l'individuazione e la comprensione di tali regolarità rappresenta l'obiettivo del progetto di ricerca. L'individuazione dei vincoli e della progressione dei processi dinamici nella fenomenologia neurale delle loro manifestazioni, porta ad individuare le *invarianti soggettive*, l'é*pochè* della "riduzione fenomenologica" di Husserl, punto di conclusione del processo conoscitivo.

Qual'è, allora, la risposta "all'effetto Nagel", all'esperienza soggettiva di avere determinati processi fisici? La risposta si trova nel postulare che il tono affettivo compenetri ogni processo cognitivo, il quale, essendo incarnato, si manifesta nell'azione e nella transizione di stati, variabile dipendente quindi nella *discriminazione tra due momenti di coscienza* originati dalla naturale disposizione al movimento dell'intero corpo in risposta alla salienza delle fluttuazioni affettive: "Sosteniamo che la sensibilità stessa, come prototipo della nostra capacità di sentire e momento di coscienza, *è la lotta incarnata* tra il processo modellato e distribuito che siamo e le nostre deformazioni morfodinamiche" (*vedi paragrafo successivo*) (Rudrauf et al., 2003).

> **incantàre:** dal *lat*. INCANTÀRE, composto dalla particella IN e CANTÀRE, intensivo di CÀNERE, *cantare*, *cantare in versi,* ed anche *fare incantesimi*.
> Metaforicamente: guadagnare l'animo di qualcuno.
> Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
> https://www.etimo.it/?term=incantare

> **època:** s.f. [dal gr. ἐποχή, épochè, *sospensione*, *fermata*; der. di ἐπέχω, *trattenere*].
> Punto fisso nella storia, segnato da qualche avvenimento memorabile, da cui si comincia a contare una nuova serie di anni; o *spazio di tempo compreso fra due di tali punti o momenti della storia*.
> https://www.treccani.it/vocabolario/epoca/

Épochè e riduzione fenomenologica

Indagare la soggettività vuol dire promuovere la generazione di stati e comportamenti radicati nel corpo con la progressiva riduzione delle variabili morfodinamiche (campo morfodinamico: *chiusura organizzativa*), ovvero i vincoli rappresentati dall'organizzazione corporea come le caratteristiche biomeccaniche, la dinamica dei liquidi interni, gli organi del corpo e le proprietà muscolo-scheletriche, tutti livelli che possono influenzare in modo causale il nucleo dinamico. Nel vivere quotidiano la mente lavora in uno stato pre-riflessivo, non distingue tra oggettivo e soggettivo, la dimensione in cui opera è costituita dal soddisfacimento di bisogni primari, obiettivi da raggiungere, interessi, distrazioni, dimensione in cui temporalità e successione continua di eventi ostacolano un funzionamento riflessivo efficace. Varela si rifà alla fenomenologia del corpo vissuto di Merleau-Ponty (1945) e all'assenza di fondamento di Heidegger (1927) – secondo il quale l'esistenza non conosce separazione tra soggetto, oggetto, coscienza e mondo –, individuando nelle pratiche contemplative buddhiste una metodica efficace per il raggiungimento della condizione mentale adeguata allo scopo, ovvero una mente consapevole che può riconoscere i vincoli generati da essa stessa a fondamento di una realtà esteriore fittizia (realtà appartenente al dominio cognitivo di un osservatore in terza persona).

La metodica contemplativa proposta si basa sulla definizione di una pratica volta al raggiungimento di un *agire* consapevole strutturato nella ricorsività di tre fasi in successione: una prima fase di *sospensione* di pensieri e giudizi legati alla quotidianità, una fase di *conversione dell'attenzione* dall'esterno all'interno di sé e un'ultima fase di *ascolto* o di ricettività verso quanto esperito.

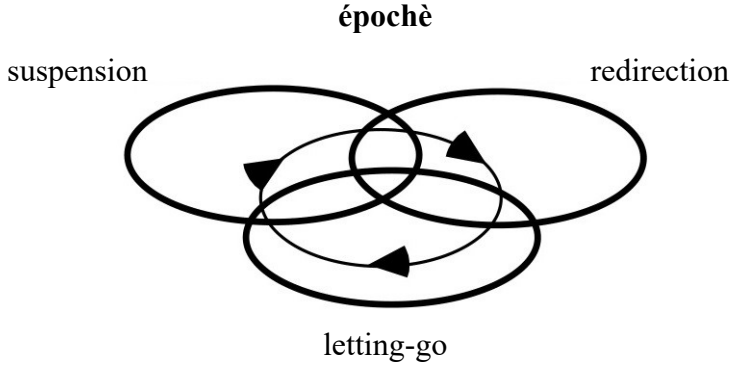


Immagine tratta da: Depraz N., Varela F.J. and Vermesch P. - *The Gesture of Awareness. An account of its structural dynamics.* Da: Velmans M., *Investigating Phenomenal Counsciousness*, Benjamin Publishers, Amsterdam, 1999.

La prassi contemplativa si caratterizza per il principio *en*attivo, il *prevalere* di una progressiva sensibilità e interazione tra ambiente e variazioni morfodinamiche rispetto all'agire causale promosso da una conoscenza *a priori*. L'obiettivo di questa pratica è il raggiungimento di una descrizione in prima persona dei fenomeni osservati e osservabili, in modo da poter convalidare o confutare le proposte teoriche avanzate, "rinnovando il concetto stesso dell'approccio fenomenologico come metodo di descrizione ed esplorazione della coscienza" (Depraz et al., 1999). Al processo meditativo seguono le fasi di *espressione* e *validazione* con il supporto dello sperimentatore, al fine di condividere i contenuti dell'esperienza meditativa. La dimensione *temporale* dell'atto del divenire consapevole conferisce alla descrizione la dinamica necessaria, poiché la temporalità dell'esperienza ha caratteristiche prettamente psicologiche, prodotto di una costruzione soggettiva, a differenza della dimensione spaziale, rappresentata da uno specifico sistema neurale (Moser et al., 2008). Con il termine é*pochè*, Varela e collaboratori intendono lo stato di sospensione di giudizio e ascolto interiore indotto dalla circolarità e ripetizione delle tre fasi dell'atto contemplativo, in cui ogni fase elicita la seguente con il supporto necessario a indirizzare l'attenzione verso le alterazioni prodotte dal campo morfodinamico, quindi al raggiungimento di uno stato riflessivo capace di esperire la dimensione di un sé profondo. Come ogni processo cognitivo anche l'*atto* riflessivo può avere inizio solamente attraverso l'*azione*, un cambiamento di stato, il muovere i propri pensieri da un atteggiamento pre-riflessivo a uno di introspezione per arrivare infine alla consapevolezza percettiva.

> *"Solo la conoscenza di tecniche sviluppate con l'intenzione di aiutare le persone a produrre questo cambio di attenzione ... dà la misura di quanto sforzo possa rappresentare per alcuni ... un po' come se, una volta indotto, il suo uso* esplorativo *e* riflessivo *procedesse automaticamente. ... queste tecniche sfruttano comunemente il fatto che il portare l'attenzione verso l'appercezione coincide in parte con l'attenzione rivolta alle sensazioni cinestesiche e propriocettive, il suo supporto organico.*
> *Portando l'attenzione al respiro, o a ciò che è in tensione e ciò che non lo è, siamo portati a concentrarci sul corpo vissuto come centro focale, che può essere quindi descritto come psichico o spirituale, e a lasciare il mondo come un'estensione oltre i confini del corpo.* (Depraz et al., 1999).

In effetti, in opposizione a quanto il meditare possa suggerire, il processo contemplativo di *épochè* presuppone un agire cognitivo intenzionale e ben diretto in ognuna delle tre fasi: la fase conclusiva del letting-go, il lasciar andare il controllo, l'abbandono, è in realtà la disposizione a lasciare entrare, l'ascolt-*azione* (Bonardi, 2020), l'abbandono alla riflessione che comporta il mantenimento di una tensione attentiva e la sensazione di uno spazio non ingombro dalla dimensione pre-riflessiva. La durata di questo "vuoto" può essere breve o durare minuti, ma questa condizione consente l'emergere di una forma, di un pensiero (al pari del fenomeno di insight descritto da Kohler, 1917) in grado di fornire una percezione chiara e distintiva dell'esperienza, l'*épochè*. La disposizione riflessiva della pratica è promossa dall'azione circolare delle sue tre fasi, non dalla ricerca o scelta di un contenuto, origina dalla relazione tra sensazione di vuoto ed esperienza contemplativa.

Lo specchio in cui il soggetto si riflette è tutt'altro che neutro, è permeato dalle proprie categorie di pensiero, la cui attività è difficile da sospendere. Ma ciò che si può raggiungere è la possibile percezione di una *forma pensiero* non disponibile attraverso il dominio linguistico, un dominio simbolico accessibile nella condizione di vuoto in grado di stabilire una nuova relazione con la realtà fenomenica esperita.

Parte terza

Ripetizione e simmetria

Neurodinamica cellulare e globale

"Ogni atto cognitivo corrisponde a una specifica configurazione di cellule coordinate su larga scala che ne determina l'emergenza e il funzionamento" (Varela, 1995), processo successivamente definito come *dynamic core* (Tononi ed Edelman, 1998): questa ipotesi si basa sulle osservazioni effettuate con tecniche di neuroimaging, che evidenziano una caratteristica attività neuronale organizzata secondo schemi distribuiti in zone cerebrali distinte. Secondo Varela, la regolazione del funzionamento cerebrale si basa su tre fattori principali:

- è dovuto a una dinamica di assemblaggio in grado di emergere in un intervallo di tempo compreso tra 100 e 300 ms;
- la dinamica – o traiettoria di assemblaggio –, crea un nucleo di riferimento che modula l'attivazione cellulare e ne vincola il comportamento;
- la dinamica è instabile e di conseguenza genera costantemente nuovi schemi in successione.

Queste tre caratteristiche consentono l'organizzazione dell'attività neurale secondo reti coordinate e la meta-stabilità, il flusso dinamico conseguente ai rapidi cambiamenti di stato. La successione dinamica di stati richiede uno studio di modellazione in grado di definire i processi e i meccanismi di attivazione/inibizione a più livelli, dal singolo neurone ad assemblaggi neurali distribuiti spazialmente (Le Van Quyen, 2003). La definizione di modelli teorici in grado di darne spiegazione ha seguito linee di ricerca diverse, come il Global Neuronal Workspace (Dehaene et al., 1998), l'approccio inside-out basato sui ritmi cerebrali (Buzsáki; 2006, 2019), il modello intrinseco (Reichle; 2009, 2010) e la termodinamica della mente (Kringelbach et al. 2024), oltre ai modelli di codifica predittiva e di energia libera introdotti precedentemente.

La biologia cellulare computazionale ha evidenziato come le dinamiche temporali mostrate a livello globale siano comparabili in scala a livello di singolo neurone (la dinamica di attivazione del neurone riproduce la dinamica del SN, e viceversa), i cui meccanismi di funzionamento relativi a canali ionici, recettori sinaptici, componenti dei segnali di trasduzione (Marder e Goaillard, 2006) e stati di ossido-riduzione (Vern et al., 1998), presentano modelli di attivazione frattale SN/neurone. Fitch sostiene che ogni singolo neurone agisca come un'unità computazionale semi-autonoma con capacità che

vanno ben oltre il "peso sinaptico" abitualmente attribuito dagli attuali modelli, poiché le informazioni in ingresso e in uscita vengono registrate nella struttura dendritica e connettiva oltre che nelle sinapsi, "un'interfaccia biologica tra espressione genica, elaborazione di processi neurali e tracce di memoria a lungo termine" (Fitch, 2023). Inoltre, a supporto della teoria autopoietica, ogni neurone incorpora un corredo cognitivo e intenzionale di ordine superiore – un sé cellulare –, evidenziato dal normale comportamento cellulare di riorganizzazione conseguente a necessità o danni alla struttura interna, o semplicemente al soddisfacimento delle proprie necessità energetiche (Fitch, 2008). Hunt e Schooler (2019) propongono che il *self*, il senso di identità, sia presente a ogni livello di grandezza, di natura elettromagnetica e conseguente alla sincronia di fase e risonanza di onde gamma, beta e theta; Hameroff e Penrose (2014) collocano il principio identitario nei microtubuli della cellula.

Affinché il SNC assicuri una corretta elaborazione degli input è necessario che sia in grado di riconoscere e discriminare tra gli stimoli endogeni e gli stimoli provenienti dall'ambiente, analogamente al funzionamento del Sistema Immunitario; esiste il presupposto ontologico che SI e SNC si siano evoluti parallelamente utilizzando analoghe strategie (Varela et al., 1988).

Sanchez-Ramon e Faure (2020) propongono che la discriminazione tra sé e non-sé avvenga durante lo sviluppo dell'embrione e nel periodo perinatale, regolando lo sviluppo del SNC sulla base di un sé cellulare: l'emergenza della mente, del *self*, è conseguente alla selezione di neuroni eccitatori e inibitori in grado di regolare l'attivazione neurale evitando "reazioni autoimmuni", i cui possibili esiti sono patologie come epilessia (attivazione prolungata) e schizofrenia (alterazione percettiva e perdita della capacità di distinguere tra segnale endogeno ed esogeno).

Il paradosso del cervello riflessivo: "Not one, not two"

"Il paradosso di un cervello che cerca di studiare se stesso presenta un enigma, sollevando interrrogativi sull'autoreferenzialità, la coscienza, i disturbi psichiatrici e i confini della ricerca scientifica. Con quali mezzi questo organo complesso può spostare l'attenzione su sé stesso?" (Battaglia, Servajean e Friston, 2025). Questa semplice introduzione pone in sintesi la natura della coscienza, gli approcci di studio possibili e il perché uno studio approfondito della coscienza non possa essere ignorato.

Ciò che agli autori preme sottolineare è come non sia possibile testare un'ipotesi teorica all'interno del medesimo sistema, in quanto ogni modello teorico si basa su alcuni assunti di base che non possono essere dimostrati o confutati (Teoremi di incompletezza di Gödel, 1931; Fields et al., 2024): il paradosso consiste nell'evidenza che non sia percorribile una strada diversa dall'*autoriflessione*, un modello funzionale adattivo sia per il Sistema Immunitario che per il SN in cui è fondamentale la distinzione tra sè e non-sè per la sopravvivenza dell'organismo. La descrizione in prima persona (1PP) dell'esperienza soggettiva e i dati empirici osservati in terza persona (3PP) sono due aspetti complementari e necessari, due osservazioni distinte di un medesimo stato di coscienza che necessitano di essere ricomposte per arrivare a una completa descrizione dell'oggetto di studio. Secondo il dualismo concettuale, l'aspetto fenomenologico e il corrispondente stato neurale *ri*velano la natura *singolare* dell'esperienza (*Not one, not two*; Varela, 1976), una modalità di astrazione che ne impedisce la comprensione corretta (Papineau, 2002). Il rinnovato interesse verso un approccio fenomenologico allo studio della coscienza ha portato all'implementazione di nuovi modelli computazionali – con l'integrazione, ad esempio, del principio di energia libera –, finalizzati alla comprensione di come il cervello sia in grado di sostenere processi ricorsivi di percezione (3PP) e introspezione (1PP), senza produrre un'amplificazione distruttiva dei segnali di ritorno in grado di mettere in crisi il sistema (Sandved-Smith L. et al., 2021).

La neurofenomenologia impostata da Varela ha quindi trovato nuove conferme e proposte a sostegno di una epistemologia in grado di rafforzare i vincoli reciproci tra esperienza cosciente (1PP) e analisi e convalida dei dati fisiologici raccolti (3PP), allo scopo di facilitare la realizzazione di "passaggi generativi" (Varela, 1997) ovvero uno

scambio di conoscenze proattivo e reciproco tra il dominio neurobiologico e il dominio fenomenico, utile e necessario per l'individuazione e la validazione delle invarianti fenomeniche. In questa direzione sono state avanzate proposte di metodi in seconda persona (2PP), tecniche di intervista in grado di elicitare e indirizzare informazioni verbali e corporee fornendo supporto e suggerimenti utili a raffinare la pratica contemplativa e la descrizione dell'esperienza (Olivares et al., 2015).

A prescindere dal metodo di intervista utilizzato (1PP, 2PP), le invarianti fenomeniche vengono individuate e validate in base all'intersoggettività, ossia devono trovare riscontro in individui diversi e corrispondere sia nelle descrizioni qualitative (1PP, 2PP) che quantitative (3PP) – relazione isomorfa –, definita da Varela "mutua circolazione". La progressiva acquisizione e circolazione di competenze ha consentito la definizione di un paradigma MEG (magneto-encefalografia) confermativo di stati di coscienza privi del senso di delimitazione come essere incarnato e agente, associato a una importante riduzione di potenza delle onde beta nella corteccia mediale posteriore, caratteristica neurofenomenologica distintiva dell'esperienza cosciente. In questo studio le dimensioni che caratterizzano l'esperienza di un sé incarnato risultano essere il senso di *agency*, la *self-location*, la prospettiva in prima persona, la disposizione attentiva, la sensibilità corporea e il *tono affettivo* (Trautwein et al., 2024). L'introduzione della neurofenomenologia computazionale basata sui modelli generativi bayesiani consente di collegare, per via inversa, le dinamiche neurali alle descrizioni dell'esperienza vissuta, in cui entrambi gli aspetti rispettano i vincoli reciproci e la mutua circolarità, con l'obiettivo di individuare come si giunga a un determinato stato di coscienza, oltre agli elementi che lo caratterizzano (Lutz et al., 2024).

In questo contesto si inserisce la proposta di Northoff, con la Neuroscienza Spaziotemporale a fare da ponte formale tra analisi qualitativa e analisi quantitiva nel paradigma neurofenomenologico (Northoff e Ventura, 2025). Entrambe le dimensioni sono caratterizzate da parametri spazio-temporali determinati, di cui è possibile rilevare le specifiche caratteristiche, e utilizzare questi parametri per coglierne l'isomorfismo ovvero il comune denominatore della mutua circolarità fenomenologica. Nonostante gli sforzi di Buzsáki di capovolgere la prospettiva, i "Principi di psicologia" di William James restano il riferimento della comunità neuroscientifica per la definizione dei costrutti

da identificare, testo in cui la struttura temporale cosciente viene suddivisa in “continuità sensibile” e “cambiamento continuo” (James, 1890). La continuità sensibile rappresenta il perdurare fenomenico di un’esperienza oltre il tempo effettivo, la percezione prolungata alla cessazione dello stimolo; il cambiamento continuo rappresenta, all’opposto, il flusso continuo (dinamico) di contenuti esperienziali in successione. La rappresentazione spazio-temporale soggettiva si struttura per durata e velocità, parametri che specificano le due caratteristiche del contenuto cosciente, declinabile secondo le diverse dimensioni di durata, successione, continuità sensibile e cambiamento continuo. A partire da una concezione autopoietica ed enattiva dell’esperienza, in cui ogni stimolo viene elaborato all’interno di una continua circolarità tra SNC, corpo e ambiente, con un lavoro di analisi di metadati Qin e colleghi hanno identificato una straficazione dell’attività neuronale, correlata a tre diversi livelli di esperienza cosciente (Qin et al., 2020). Nello studio vengono evidenziati tre strati neuronali corrispondenti a tre forme del sé e alle rispettive esperienze fenomenologiche. Lo strato profondo comprende le regioni limbiche sottocorticali come talamo, mesencefalo e il tronco e, a livello corticale, l’insula. Questo strato, definito sé intero-esterocettivo, elabora le informazioni interocettive e le integra con gli stimoli ambientali, andando a comporre il sé nucleare (Stern, 1987), spesso agente a livello di inconsapevolezza ma accessibile attraverso l’attenzione focalizzata. Un secondo livello è definito estero-propriocettivo, viene espresso attraverso l’attivazione delle aree precedenti e aree corticali come la giunzione temporoparietale (TPJ), la corteccia premotoria (PMC) e la corteccia prefrontale anteriore mediale (amPFC). A questo livello il corpo integra sensorialità, movimento e orientamento spaziale con il sé intero-esterocettivo. Il livello superiore è riferito al sé mentale, alla consapevolezza autoriflessiva e alla capacità descrittiva dell’esperienza, corrispondente, oltre alle aree precedentemente individuate, alle strutture corticali della linea mediana anteriore e posteriore come la corteccia prefrontale ventromediale (vmPFC) e la corteccia cingolata posteriore (PCC). Poiché ogni esperienza esprime un’attivazione distribuita spazialmente, gerarchicamente organizzata nei tre livelli secondo parametri temporali correlati, tale espressione consente di declinare il dato fenomenologico in una modalità di codifica condivisa e la possibile identificazione di una struttura spaziotemporale isomorfica utile a verificare le ipotesi di ricerca.

Dendrofilia, l'albero della conoscenza

Una simulazione al computer può davvero dare spiegazione delle funzioni cerebrali? La questione, vista dalla prospettiva della biologia cognitiva, sembra evidenziare delle limitazioni e la conseguente necessità di cambiare le impostazioni di ricerca. Fitch (2014) pone in primo piano il ruolo del singolo neurone, attribuendo alla singola cellula capacità di calcolo e di riorganizzazione, nella forma e nella struttura, tali da rivestire un ruolo fondamentale nell'ambito delle dinamiche neurali.

I modelli computazionali hanno a lungo considerato i neuroni come unità semplificate, trascurando l'effettivo impatto nelle funzioni di calcolo e nei fenomeni relati a plasticità e metaplasticità neuronale. Le evidenze risultanti in biologia cognitiva attribuiscono a ogni cellula eucariota caratteristiche computazionali complesse a livello di espressione genica e di "wetware" biochimico (Bray, 2009), ma nel neurone la potenza di queste capacità viene amplificata in virtù del dendrite, struttura con una forma ramificata ad albero in continua trasformazione, regolata dalle interazioni SNC-corpo-ambiente. Le operazioni di calcolo e memorizzazione avvengono a più livelli e in diverse scale temporali, dalle più rapide, biochimiche e sinaptiche, alle più lente, come la formazione delle connessioni neurali a lungo raggio. Poiché la singola cellula ha una capacità di elaborazione pari a un modello di rete neurale artificiale a due strati (Hertz et al., 2006), è necessario considerare come molti processi attribuiti ad assemblaggi di cellule possano invece essere svolti da singoli neuroni, con un consumo energetico ridotto rispetto a una elaborazione effettuata in rete. Il tipo di calcolo effettuato dal dendrite è considerato sia analogico che binario, in funzione del segnale elaborato, cosicché i neuroni singoli e le reti neurali conseguenti alle traiettorie di assemblaggio risultano essere *sistemi misti analogico/digitali*.

L'analogia tra la forma del dendrite e la struttura gerarchica ad albero non è casuale (Fitch, 2014) ma connota formalmente una peculiarità della mente umana nel classificare gli stimoli e le interazioni secondo una gerarchia nidificata, una struttura formale implicita e comune a molti aspetti funzionali come la pianificazione motoria, i processi di categorizzazione, la memoria di lavoro e la percezione.

La famiglia del gene FoxP2 – correlata allo sviluppo del linguaggio negli esseri umani –, regola l'espressione di numerosi fattori genici deputati al controllo dei processi

di articolazione, tra i vari aspetti coinvolti, e nello sviluppo morfologico di dendriti e assoni, con una maggiore lunghezza e plasticità sinaptica rispetto a specie vicine come gli scimpanzé (Vernes et al., 2011). Lo stesso gene interviene anche nella morfologia di altri organi come polmoni e vasi linfatici (Vasquez et al., 2021).

Secondo Fitch "la specie umana (cognizione umana) ha sia la capacità che la propensione a dedurre strutture gerarchiche ove possibile", strutture caratterizzanti ogni linguaggio formale. Poichè il SN dei vertebrati è fondamentalmente simile, ritiene che la spiegazione relativa alla specificità del linguaggio umano sia dovuta alla particolare arborizzazione dendritica dei neuroni in grado di supportare a livello computazionale gerarchie ad albero nidificate. L'ipotesi della "dendrofilia" suggerisce una *radice* innata per la grammatica universale, la disposizione naturale dell'essere umano all'acquisizione di ogni sintassi e, conseguentemente, di ogni linguaggio, comune denominatore tra linguaggio naturale, linguaggio di programmazione informatico e linguaggio musicale. Il termine "innato" va interpretato come *disposizione ad apprendere* ed acquisire tali strutture.

Buzsáki (2019) propone che la cognizione si basi sulla sintassi neurale, l'organizzazione nidificata dei ritmi di scarica dei neuroni, un meccanismo originato dalla sincronia di fase di configurazioni neuronali e assemblaggi precostituiti ma inizialmente privi di significato, e solo successivamente correlati mediante processi di apprendimento conseguenti ai cicli di azione-percezione (dall'interno all'esterno). Nella sua analisi dei rapporti esistenti tra i livelli gerarchici dei ritmi cerebrali e il significato che tali relazioni assumono, indica una analogia con la struttura ritmica della musica classica indiana espressa nel concetto di tāla, un modello di configurazioni ritmiche cicliche annidate che fà da struttura per la ripetizione di melodie e improvvisazioni (Srinivasamurthy et al., 2012).

radìce: *lat*. RÀDIX, RADÌCEM, *verga*, *ramo*.
La parte inferiore delle piante destinata a succhiare il nutrimento;
fig. Principio, origine.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=radice

sin-: dal *gr*. σύν, *insieme*.
Prefisso di parole composte derivate dal greco o formate modernamente, che indica unione, connessione, coesione, completamento.
https://www.treccani.it/vocabolario/sin/

dia-: dal *gr*. διά, a*ttraverso*.
Prefisso di molte parole composte, derivate dal greco o formate modernamente nella terminologia scientifica, nelle quali significa per lo più «attraverso» o «per mezzo di», oppure indica *separazione*, *diversità*.
https://www.treccani.it/vocabolario/dia/

-bolo: s.m. dal gr. Βάλλω, gettare, *volgere*, *dirigere*.
https://www.grecoantico.com/dizionario-greco-antico.php?parola=βάλλω

sìmbolo: s.m. [dal lat. *symbŏlus* e *symbŏlum*, gr. σύμβολον accostamento, segno di riconoscimento].
Mettere insieme, *far coincidere* (comp. di σύν, insieme, e βάλλω, volgere, dirigere).
https://www.treccani.it/vocabolario/simbolo/

diàvolo s.m. [dal gr. διάβολος, c*alunniatore;* der. di διαβάλλω, gettare attraverso, calunniare].
Contraddittore, oppositore: mettere in contraddizione, *separare*.
https://www.treccani.it/vocabolario/diavolo/

simmetrìa: dal g*r*. SYMMETRÌA, composto di SYN *insieme*, divenuto SYM per assimilazione e METRÌA, da MÈTRON, *misura*.
Ordine e proporzione fra le parti di un tutto.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=simmetria

sintàssi: dal g*r*. SYNTAXIS, composto da SYN *insieme*, e divenuto TÀXIS *ordine*, dal verbo TÀSSEIN *ordinare*.
Coordinamento delle parole di un discorso e parte della grammatica che ne stabilisce le norme.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=sintassi

Singolarità cognitiva, simboli e sintassi

Dehaene e coll. (2022) hanno sottoposto a verifica empirica la teoria di Fitch, riscontrando effettivamente quanto postulato, con la sola eccezione che ogni linguaggio formale mostra caratteristiche di elaborazione comuni ma con attivazione di circuiti neurali distinti, in funzione del dominio dello stimolo. La composizione sintattica si basa su quantità, riferimenti spaziali e *ripetizione con variazioni*, la cui struttura è organizzata in modo gerarchico e nidificato secondo il principio algoritmico di descrizione minima (MDL), applicato da Dehaene in ambito cognitivo, ovvero lo *script* più efficiente a descrivere lo stimolo osservato subordinato all'utilizzo della memoria di lavoro. Nel processo di elaborazione, gli esseri umani evidenziano la naturale tendenza a scomporre lo stimolo secondo i criteri citati piuttosto che riprodurlo analogicamente, modalità non rilevata, ad esempio, nelle scimmie. Sono stati utilizzati stimoli geometrici, acustici e spaziali, atti alla verifica dei domini linguistici formali proposti da Fitch (linguaggio naturale, linguaggio musicale) come equivalenti ai linguaggi simbolici di programmazione informatica. Ogni processo descrittivo e di attribuzione di significato compiuto dal SN, in interazione con corpo e ambiente, viene espletato da funzioni cognitive che trovano nell'utilizzo ricorsivo di simboli, quantità e qualità gestaltiche il nucleo operativo del proprio agire, sotto la guida di un sistema predittivo che ne regola e affina i comportamenti.

Nel test visuospaziale sono state sottoposte sequenze che tracciavano i vertici di un ottagono, secondo modalità diverse. È stato riscontrato come le sequenze facilmente riducibili secondo il criterio MDL siano la modalità naturale di riproduzione rispetto alla memorizzazione dell'intera sequenza osservata, a differenza dei risultati ottenuti nei primati dove la memorizzazione completa è stata l'unica strategia rilevata, a sostegno dell'ipotesi relativa all'unicità della mente umana.

Il test acustico si è basato sull'ascolto di una serie di 16 suoni composti da due diverse frequenze, A e B, serie costruita da coppie annidate e riducibili a una stringa minima, ad esempio:

AABBABABAABBABAB ⇨ AABB ABAB AABB ABAB

Nel test di riconoscimento di un intruso all'interno di un gruppo di forme simili, è stato verificato come il compito venga risolto con minore difficoltà quando le

caratteristiche percettive presentano qualità in comune facilmente riconoscibili (ad esempio: tutti i quadrilateri hanno i lati ortogonali) ad eccezione dell'intruso, con la possibilità di sintesi di regole da applicare nella discriminazione.

Per ognuna delle dimensioni indagate è stato quindi possibile verificare l'ipotesi di partenza e validare il presupposto di tale singolarità, poiché tale scomposizione logica non è mai risultata evidente nei test sottoposti a primati in laboratorio, animali precedentemente addestrati nell'acquisizione di capacità di tipo linguistico. È a questo livello che tutto il percorso di ricerca fin qui presentato trova la condizione di cristallizzare e definire *simbolo*, *simmetria*, *logica*, *analogia*, *metafora* e *ripetizione* non solo come termini linguistici ma come *processi prototipici* di una qualsiasi forma di cognizione emergente dall'azione in organismi autopoietici, auto-organizzanti in equilibrio omeostatico.

> *Il cervello che agisce è anche e innanzitutto un cervello che comprende. Si tratta di una comprensione pragmatica, preconcettuale e prelinguistica e tuttavia non meno importante, poiché su di essa poggiano molte delle nostre tanto celebrate capacità cognitive.* (Rizzolatti e Sinigaglia, 2006).

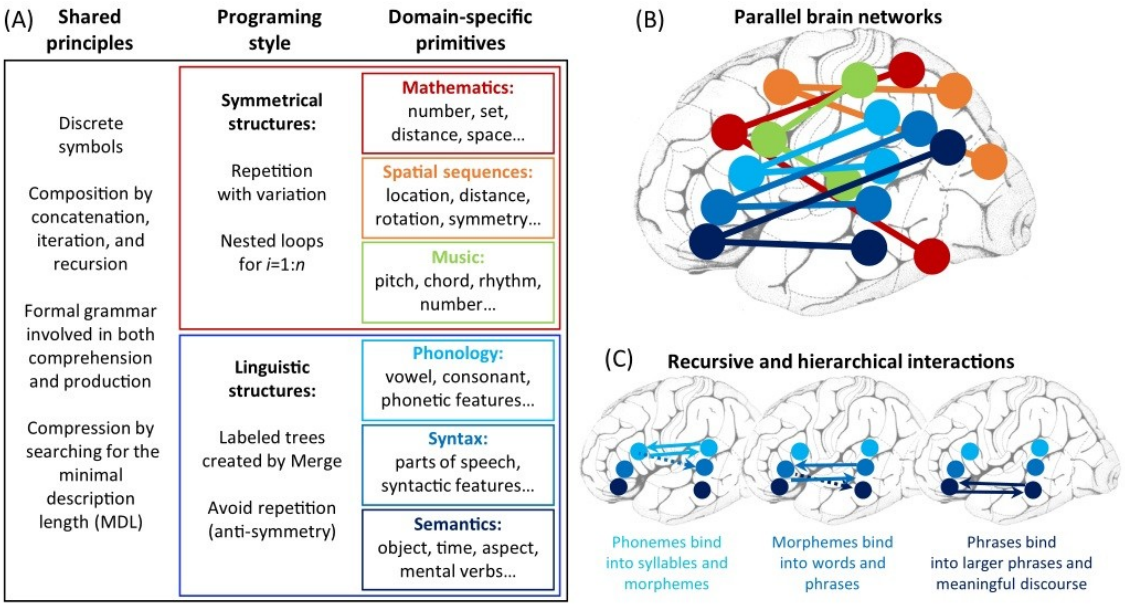


Immagine tratta da: Dehaene S. et al., (2022) - *Symbols and mental programs: a hypothesis about human singularity.* Trends in Cognitive Sciences, Vol. 26, No. 9, 751-766.

metàfora: *lat*. METÀPHORA, dal *gr*. METAPHÒRÀ, *trasporto*, composto di METÀ *oltre*, *tra* e PHORÈO forma secondaria di PHÈRÒ, *portare*.
Figura retorica, per cui un vocabolo si trasporta dal proprio significato ad un altro, *che ha con esso qualche analogia*, per esempio dal fisico al morale e viceversa. Dicesi anche traslato.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=metafora

Lògica: *lat*. LÒGICA, *gr.* LOGIKÍ, (sottint. Téchnê, *arte*), che trae da LÒGOS, *discorso, ragione*.
Arte di ben ragionare; parte della filosofia che insegna a dirigere la ragione in cerca della verità, e dimostrare altrui la verità conosciuta.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=logica

Analogía: *gr.* ANALOGÍA, da ANÀLOGOS, *proporzionato*. - Eguaglianza di due rapporti; Relazione e proporzionalità di due cose fra loro, Convenienza.
Pianigiani O., *Vocabolario Etimologico della Lingua Italiana*
https://www.etimo.it/?term=analogia

Linguistica cognitiva: metafora e analogia come principio di descrizione minima

> "L'astronave Cuore d'Oro è dotata di un Motore a Improbabilità Infinita..."
> Douglas Adams, (1980) - *Guida galattica per autostoppisti*

> "Ho visto matite cadere, ad un tratto, sotto una mina"
> Alessandro Bergonzoni (2006) - *Nel*

La linguistica cognitiva affronta lo studio del linguaggio come espressione di una mente incarnata, enattiva, un modello cognitivo di costruzione di significato all'interno di uno spazio condiviso di amalgama (Fauconnier e Turner, 2001). I principi della linguistica cognitiva sono i medesimi del funzionamento cognitivo, sottostanno ai vincoli imposti dal sistema percettivo e alle categorie di pensiero individuali e culturali: l'oggetto di studio è quindi la definizione di mappe concettuali emergenti dall'espressione linguistica, prevalentemente sotto forma di analogia, metafora, simmetria. La struttura del processo di costruzione di significato permette di definirne l'attribuzione seguendo il percorso di collegamento dei costituenti, oggetti dotati di caratteristiche specifiche e ruolo nello spazio condiviso.

La grammatica cognitiva proposta da Langacker (2008) "sostiene che lessico, morfologia e sintassi formano un continuum" in cui lessico e grammatica sono descrivibili sotto forma di strutture simboliche, espressioni definite dall'accoppiamento di un polo semantico e un polo fonologico. L'espressione minima, riconosciuta come elemento lessicale, si combina in insiemi di strutture simboliche di varie dimensioni e complessità, secondo schemi di corrispondenze che ne regolano la costruzione. La semantica cognitiva si compone di tre livelli descrittivi: un primo livello definisce la specificità del grado di descrizione, ad esempio la progressione oggetto, pentola, bollitore, teiera, teiera in ceramica; la prospettiva di osservazione della descrizione ("Vieni a casa!", dall'interno, piuttosto che "Vai a casa!", dall'esterno); la gerarchia esistente tra gli elementi dello schema.

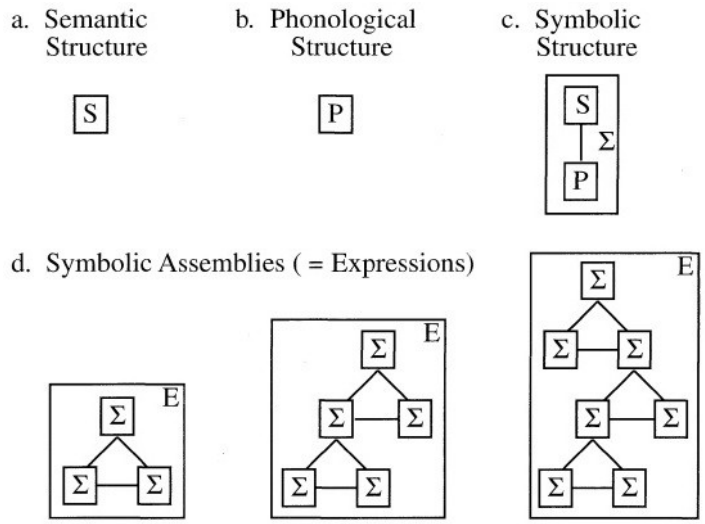


Immagine tratta da: *English Linguistics 20: 1 (2003) 41-83.* - English Linguistic Society of Japan, 2003.

Se Marr "sostiene che la visione consiste nella costruzione di descrizioni simboliche efficienti a partire da immagini del mondo", si può affermare in modo speculare che la linguistica cognitiva consiste nella costruzione di descrizioni simboliche efficienti a partire da immagini del mondo.

Ogni espressione simbolica (polo semantico e polo fonologico) può acquisire rilevanza in merito a un aspetto particolare del significato evocato oppure in riferimento all'organizzazione dello schema, dove lo schema rappresenta il fattore comune, l'analogia, esistente tra insiemi di espressioni (symbolic assemblies). Ogni espressione può essere poi caratterizzata dal profilo e dall'organizzazione di una traiettoria verso un punto di riferimento. Il profilo definisce un aspetto particolare del concetto sottostante l'espressione: ad esempio l'espressione "tetto" non può esistere a prescindere dal concetto di "casa" o "edificio", di cui "tetto" ne è il *profilo;* inoltre "tetto", posto *al di sopra di*, comprende implicitamente anche una direzione, un movimento, come "uno sguardo *dal*", "salire *sul*", "discendere *dal*", ecc.). Seguendo i principi percettivi descritti dalla Gestalt, o il presupposto che la cognizione emerga dal ciclo azione-percezione, avremo un agente, il *trajector*, che acquisirà prominenza all'interno dello schema stabilendone la gerarchia e la direzione espressiva come risultato del rapporto *trajector* / *landmark* ovvero tra figura e sfondo. Viene qui riproposta l'idea che l'utilizzo della modalità linguistica assuma la forma di un orientamento cognitivo, un mezzo di

interazione sociale finalizzato alla condivisione di un dominio percettivo comune.

Una frase come “Ho visto matite cadere, ad un tratto, sotto una mina” (Bergonzoni, 2006), richiede l’amalgama di concetti provenienti da domini diversi, che necessitano di essere fusi all’interno di uno spazio mentale condiviso affinché possano venire correttamente integrati. L’oggetto “matita”, nello spazio condiviso assume corrispondenza con un corpo che cade, con l’immagine di un corpo vittima di un esplosivo, dove il conflitto non è provocato da un confronto armato ma è un conflitto simbolico, poiché il meccanismo esplosivo di una “mina” si attiva da sopra, e non da sotto… A questo punto è chiaro che la corrispondenza di “mina” torna al significato originale di nucleo in grafite della matita. Anche “tratto” ha corrispondenze diverse, in analogia sia con il segno della matita che con il rapido succedersi degli eventi di una situazione di pericolo. La corretta comprensione del significato dell’analogia è legata alla capacità di collegare gli elementi contenuti negli spazi mentali di origine – matita, tratto e mina (grafite, 1); corpo che cade, improvvisamente e mina (esplosivo, 2) – all’interno di un spazio mentale di amalgama in cui possa avvenire tale fusione.

L’approccio proposto dalla linguistica cognitiva consente di approfondire la conoscenza del linguaggio come strumento di espressione dell’esperienza “vissuta” e concreta, secondo modelli mentali individuali e/o culturalmente condivisi. Parafrasando il contenuto dell’articolo di Varela “Not one, not two”, linguistica cognitiva e linguistica generativa innatista (Chomsky) possono rappresentare due aspetti complementari del dominio linguistico *singolare* umano.

Parte quarta

Ripetizione e riabilitazione

La riabilitazione motoria nell'emiplegico (ETC)

Quale conclusioni si possono trarre dalla varietà di proposte fin qui presentate? In passato, ogni proposta teorica formulata ha trovato origine e banco di verifica in ambito patologico, dove determinate caratteristiche dei pazienti in trattamento consentivano la selezione di dati utili alla conferma o smentita dei presupposti di ricerca.

L'evoluzione della riabilitazione motoria in pazienti emiplegici ha seguito il medesimo percorso, passando nel corso degli anni da un approccio dicotomico esterno-interno, a un approccio neurocognitivo, in grado cioè di applicare i progressi compiuti nel campo delle neuroscienze al percorso terapeutico riabilitativo. L'emiplegia consiste nella perdita della capacità motoria di un lato del corpo, conseguente a un danno cerebrale dovuto alla mancata irrorazione sanguigna per ictus, ischemia, trauma, e altre possibili cause, generalmente associata ad afasia.

Una teoria della riabilitazione viene definita come un insieme strutturato di conoscenze relative ai processi di recupero che permette di costruire un modello ragionevole dell'oggetto di studio, tale, cioè, da potere essere verificato attraverso una serie di esercizi. Ogni teoria, per poter permettere l'elaborazione di esercizi adeguati al modello proposto, deve consentire anche una coerente interpretazione della patologia e una altrettanto coerente definizione degli strumenti dell'esercizio, ovvero delle strategie che il riabilitatore può mettere in atto. La teoria muscolare (o analitico culturista) prevede che il paziente esegua il compito secondo un approccio puramente fisico, senza la necessità di una partecipazione soggettiva; il risultato è ottenuto sulla base di *n* ripetizioni degli esercizi stabiliti dal riabilitatore. Nelle teorie motivazionali viene introdotta la soggettività del paziente nel percorso di cura, assumendo così rilevanza per il raggiungimento dell'obiettivo terapeutico. L'approccio neuro-motorio porta l'attenzione del riabilitatore sul ricondizionamento propriocettivo (metodo Bobath) e sugli schemi motori di base (facilitazione neuromuscolare propriocettiva, metodo Kabath).

La riabilitazione cognitiva, studiata e perfezionata da Perfetti (1979) è incentrata sui processi che conducono alla conoscenza, secondo i principi formulati da Maturana e Varela, in cui auto-osservazione e consapevolezza percettiva diventano parte del percorso terapeutico. In questo modello teorico l'entità e il livello qualitativo del

recupero, sia esso spontaneo o guidato, si ritiene determinato dal tipo di processi cognitivi attivati e dalla modalità di attivazione. Con il termine cognitivo si intende sottolineare che l'elaborazione dei criteri adottati per la strutturazione delle condotte terapeutiche deve tener conto in primo luogo dei contributi delle neuroscienze, che studiano i processi che permettono la conoscenza.

La conoscenza è dunque ritenuta un fenomeno biologico in quanto "ogni alterazione biologica del nostro sistema nervoso modifica le nostre capacità cognitive" (Maturana, 1980). L'ipotesi alla base della teoria cognitiva consiste nella capacità del SNC di entrare in rapporto con il mondo e conoscerlo attraverso l'apprendimento, e la regolazione dei processi cognitivi necessari (percezione, attenzione, memoria, visione, linguaggio) sia in situazioni di normalità che di patologia.

Il corpo viene visto come una superficie recettoriale capace di far pervenire al SNC le informazioni necessarie ai fini della conoscenza-assegnazione di senso al mondo. In quest'ottica *il recupero altro non è che una modalità di apprendimento che si svolge in una situazione di patologia*, dove il movimento viene visto come un mezzo per conoscere e interagire con il mondo. Il paziente può venire così interpretato come un "sistema" in cui la lesione "motoria" riduce le possibilità di organizzazione in funzione delle diverse modalità di interazione con l'ambiente. Uno dei fini della riabilitazione cognitiva è rappresentato dalla elaborazione di modelli della funzione oggetto di recupero e delle relative alterazioni in condizioni patologiche, in cui l'aspetto motorio rappresenta solamente una delle componenti, spesso neppure quella prevalente. Come detto sopra, le ipotesi formulate devono poter poi essere verificate mediante l'esercizio, a sua volta inserito in una unità di lavoro all'interno di una precisa condotta terapeutica.

L'*Esercizio Terapeutico Conoscitivo* (ETC), o metodo Perfetti, pone pertanto come problema l'assegnazione di senso al mondo e ai suoi oggetti; obiettivo raggiungibile unicamente attraverso la corretta individuazione di relazioni di tipo diverso, solitamente spaziali (distanza, direzione) o di contatto (superficie, peso, attrito, pressione). In ogni fase deve essere verificata la reale efficacia dell'esercizio proposto ai fini del recupero, non limitandosi solamente all'osservazione di elementi che la patologia impedisce di riconoscere – distanze, direzioni, relazioni spaziali, temporali, ecc. – ma osservando soprattutto le "attività" che consentono tali capacità e il modo in cui queste vengono

alterate dalla lesione. Ogni esercizio che sia in grado di modificare la struttura neurologica, le modalità e le capacità di conoscenza, non può non avere ripercussioni sul vissuto del soggetto e, a sua volta, venire influenzato anche dalle esperienze precedenti.

Notevole rilevanza assume quindi la descrizione del vissuto collegato alla esecuzione del compito da parte del malato, poichè in tal modo il paziente viene posto di fronte alla necessità di avere esperienza cosciente di alcune modalità fondamentali per l'assegnazione di senso. Tali modalità, che in condizioni normali non ricevono attenzione, vanno dalle componenti somestesiche dell'azione fino alla rappresentazione dell'azione stessa, identificabile con l'immagine motoria.

Ipotesi percettiva e riduzione fenomenologica nell'ETC

Una possibile spiegazione del concetto di ipotesi percettiva nell'ETC è data dalla seguente analogia: *il modello interno sta alla teoria predittiva come l'ipotesi percettiva sta all'accesso cosciente*.

Questa definizione inquadra il *problema* posto dalla patologia come una *modalità distorta ad apprendere* e all'impossibilità di trovare dei riferimenti congrui alla riconfigurazione dei modelli predittivi danneggiati, con tutte le conseguenze legate a tale deficit. In un noto esperimento compiuto ai danni di un (povero) gatto, Anokhin (1975) trapiantò un muscolo estensore nel gruppo dei muscoli flessori: dopo un periodo di adattamento il gatto poté riprendere il suo normale agire; in seguito fu possibile verificare come la muscolatura rispondesse in modo appropriato agli impulsi trasmessi secondo le specifiche risposte di estensione e contrazione, confermando come la compensazione fosse avvenuta a livello di funzioni superiori.

Lo scopo di una riabilitazione cognitiva consiste proprio nel rendere accessibile al SNC la disconnessione esistente tra schemi motori, attivazione muscolare e modelli predittivi precedenti al danno neurologico. Il processo di acquisizione di una nuova capacità ad apprendere viene svolto all'interno di una pratica orientata a sviluppare la circolarità azione-percezione in una situazione di *riduzione fenomenologica* delle interferenze interne ed esterne. In effetti, l'ostacolo più ostico da superare è rappresentato proprio dalla difficoltà di essere *sordi* e *ciechi* rispetto al proprio corpo, diventato improvvisamente sconosciuto e non accessibile, mentre processi e schemi mentali propongono quanto memorizzato senza il necessario apporto di feedback e compensazioni. Il "brodo primordiale" di Varela (1999), da cui emerge la mente emotiva e cognitiva, trova in questo contesto la sua forma originaria, un'immagine in cui ogni dominio deve essere ricomposto affinché sia possibile tornare al controllo di risposte e comportamenti adattati alla propria condizione, a nuovi stati neurali, attraverso un percorso di auto-apprendimento e coscienza di sé.

La riduzione fenomenologica, possibile e necessaria in questa forma di riabilitazione, consiste nello sforzo non indifferente di superare la frustrazione legata alla perdita sensomotoria e nel portare attenzione alle richieste del terapista. In riferimento all'attenzione come filtro di Krauzlis e coll. (2014), lo sforzo del paziente è

proteso a far emergere la disponibilità all'ascolto del proprio corpo e al riconoscimento delle stimolazioni gradualmente proposte; al contempo è necessario anche il contenimento di una emotività dirompente che interferisce con il compito, unico ritorno di un compito spesso infruttuoso.

Il primo approccio inizia solitamente con la stimolazione della sensibilità tattile della mano, il cui ruolo nei movimenti di esplorazione e ricerca è paragonato al lavoro svolto dalla fovea nella percezione visiva (Szentagothai e Arbib, 1974). Il compito consiste nello sperimentare e successivamente discriminare con la punta delle dita superfici di graduale rugosità, affidandosi solamente al tatto senza il supporto della vista. Altri tipi di stimolazione possono richiedere il riconoscimento del grado di pressione esercitato dal riabilitatore con spugne di diversa consistenza, o il riconoscimento di figure tridimensionali il cui profilo è stato passivamente delineato con il polpastrello. Ovviamente sono solo alcuni semplici esempi, la cui complessità non è facilmente comprensibile senza un'esperienza diretta dello sforzo necessario per portare a livello cosciente un meccanismo di funzionamento che è stato interiorizzato in età evolutiva e in modo automatico. Progressivamente si procede poi all'acquisizione del controllo dei segmenti prossimali e distali, sempre in modo graduale e con l'obiettivo di riconoscere e discriminare la posizione assunta senza il supporto visivo.

Nel caso portato ad esempio di seguito – a supporto di quanto proposto da Fitch (2014) e sperimentato da Dehaene (2022) – F.B. è un uomo giunto alla terza tranche riabilitativa di tre mesi, finalizzata all'acquisizione della sensibilità e del controllo di caviglie e piedi. In conseguenza a un grave incidente stradale causato da terzi, la diagnosi alla dimissione dalla terapia intesiva è di doppia emiparesi spastica destra e sinistra, disfonia, disartria in esiti di trauma cranico encefalico.

L'eccezionalità dell'esempio è costituita dal fatto che F.B., pur essendo un soggetto afasico con consistenti difficoltà articolatorie, ha mantenuto la capacità espressiva attraverso composizioni poetiche in grado di descrivere e condividere pienamente le proprie esperienze, anche questo un elemento non comune, oltre ad avere una non comune passione per la musica come musicista e ascoltatore. L'esperienza riportata ha costituito, di fatto, il primo tentativo di verificare il ruolo della musica nell'ambito clinico dell'ETC sotto la diretta supervisione del Prof. Perfetti (Carli, 2004).

phasis (fase): s.m. dal gr. Φᾶσις, mettere in luce, rendere visibile, far apparire; rendere percettibile all'orecchio, *far sentire*, *far risuonare*,
(nda: in fase, armonia, armonico).
https://www.grecoantico.com/dizionario-greco-antico.php?parola=Φᾶσις

afasia afaṡìa: s.f. [dal gr. ἀφασία «incapacità di parlare», comp. di ἀ- priv. e φάσις «voce, affermazione»]. – 1. L'atteggiamento di rinuncia degli scettici antichi ad affermare o negare e quindi a [...] giudicare, come conseguenza all'asserita impossibilità di comprendere le cose, sia coi sensi sia con la ragione. 2. Perdita parziale o totale delle funzioni del linguaggio, in esito a lesioni cerebrali rendere percettibile all'orecchio.
https://www.treccani.it/vocabolario/afasia/

ictus: s.m. lat. (propr. «colpo, battuta»; pl., raro, *ictus*). … **2.a.** In musica (non com.), il tempo forte, cioè accentato, della battuta. **b.** In linguistica, sinon. poco com. di *accento d'intensità* (o accento tonico). **3.** Nel linguaggio medico, accesso o colpo apoplettico da emorragia cerebrale.
https://www.treccani.it/vocabolario/ictus/

tatto: s.m. [dal lat. *tactus -us* (der. di *tangère* «toccare», part. pass. *tactus*); l'uso fig. è dal fr. *tact*]. – **1.a.** In fisiologia, senso specifico che permette il riconoscimento di alcuni caratteri fisici (durezza, forma) degli oggetti che vengono in contatto con la superficie dell'organismo; qui sono distribuiti sensori specifici (*meccanorecettori*) in grado di percepire le forze fisiche, quali torsione, stiramento o pressione, e di informare il sistema nervoso trasmettendole sotto forma di impulsi (ne sono esempi i *corpuscoli del Pacini* nei vertebrati).
https://www.treccani.it/vocabolario/tatto/

tactus: nella musica dei sec. XV e XVI significava l'unità di misura del Tempo, espressa dal gesto della mano. La durata effettiva faceva riferimento al battito del polso.
http://www3.unisi.it/ricerca/prog/musica/schede/gloss_t.htm/

Ictus, facto (afasìa)

La restituzione del paziente al terapeuta del senso di efficacia della terapia rappresenta un punto di primaria importanza nel percorso riabilitativo. Le due composizioni qui pubblicate si riferiscono a due distinti momenti del trattamento, dove la prima (*E mi immergo*) riferisce la difficoltà di apprendimento degli esercizi secondo la modalità ETC "pura" durante un periodo di trattamento di circa un mese, mentre la seconda (*La musica*), composta dopo qualche incontro dall'inizio della sperimentazione, è conseguente al positivo riscontro della musica come strumento riabilitativo accessorio.

In "*E mi immergo*" F.B. esprime il proprio vissuto in relazione al trattamento, sensazioni legate alle difficoltà interpretative poste dall'esercizio e presentate dal riabilitatore in modo più o meno efficace. La ragion d'essere è rappresentata dalla necessità di valutare la validità del percorso terapeutico proposto e l'uso corretto del linguaggio all'interno della diade paziente-terapista.

L'aspetto relazionale è considerato una componente fondamentale affinché il *sistema* trovi il proprio equilibrio interattivo. La funzione del riabilitatore è essenziale nell'accompagnare il paziente nell'ascolto della stimolazione, al contempo il paziente deve saper mantenere il giusto grado di attivazione per non anticipare o ritardare il movimento proposto. Il rapporto tra le due figure è delicato e complesso poiché le tensioni di una parte possono ricadere nell'altra, in equilibrio omeostatico, vanificando il processo di re-*integrazione*.

Il tono muscolare di partenza costituisce quindi la componente predittiva della capacità di affrontare e risolvere l'esercizio, corrispondente della fase di *letting-go* nella ricerca delle invarianti di Varela, il cui punto focale è costituito dalla reciproca restituzione della sensibilità rilevata.

Oltre all'aspetto creativo e alla eccezionalità del caso (F.B. è una persona di rara disponibilità e capacità relazionali), il componimento è la rappresentazione puntuale di una sessione riabilitativa, la descrizione della successione di punti da collegare per ricostruire la percezione corporea e la necessaria simmetria, valutabile attraverso l'immagine riflessa da uno specchio suddiviso in quadrati.

La lunghezza del momento iniziale, l'elenco minuzioso dei punti osservati e l'uso delle metafore indica lo sforzo richiesto, l'apnea legata alla ricerca minuziosa dei

particolari necessari alla *costruzione del modello* e la *a*-fasia, la mancanza di fase, dissonanza percettiva di una ricostruzione parziale e insoddisfacente che si conclude con l'incapacità descrittiva di quanto esperito e la pesantezza del ritorno emotivo conseguente all'insuccesso.

E mi immergo (1/2004)

Chiudo gli occhi
E mi immergo nel mio corpo
Lo percorro,
entro in ogni luogo, l'osservo,
e ne ascolto la voce
le piante... le caviglie... i polpacci... le ginocchia... le cosce... le anche...
il bacino... il ventre e la base della schiena...
la pancia e la schiena... il torace e le scapole... le spalle...
la spalla destra... il braccio... il gomito...
l'avambraccio... polso e mano destra insieme...
la spalla sinistra... il braccio... il gomito...
l'avambraccio... polso... mano sinistra...
le spalle... il collo... la testa
ho sentito d'esser dritto
e ho visto la parte destra più presente, più pesante
e c'era una voce dissonante
nella mano destra,
un'immagine incompleta,
priva del dorso, solo l'interno
il palmo con le dita molto sbiadite

Apro gli occhi...
Non mi piace guardare l'immagine nello specchio
nitida, i tratti sono così chiaramente delimitati...
troppo limitati.
Non mi piace guardarla
superficiale,
un rapido sguardo
mi mette a disagio e continuamente
con gli occhi cerco un riparo

Non mi piace guardarla
muta,
non sa parlare,
non ha voce
Ho trovato la mia stabilità
in un equilibrio di errori
e cerco la chiave
nella memoria delle sensazioni
per ognuna un tentativo,
pezzo per pezzo... non riesco
apro gli occhi e nello specchio trovo
l'esatta misura
delle mie difficoltà
e subito il desiderio di correggermi
ma devo tornare a me
chiudo gli occhi e ascolto
e cerco... meglio

lentamente
vago incerto
in cerca di una strada
in un labirinto fatto di sensazioni
che sembravano giuste

Stanco, apro gli occhi
Ed evito di guardare l'immagine
che mi sta di fronte
Evito di guardare in quegl'occhi
Che non sanno dire quello che ho visto

La musica (2/2004)

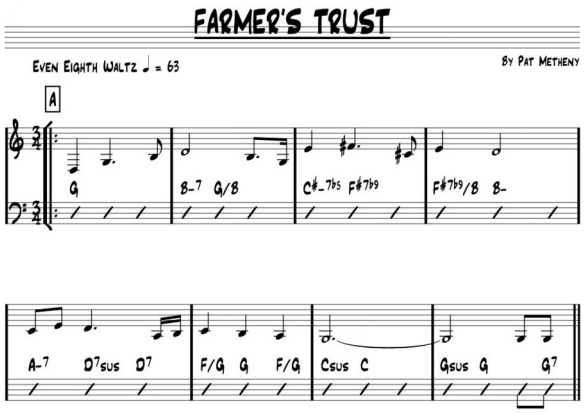
Ed entra la musica
e ci incontriamo quaggiù
ci fondiamo in un unico mondo
e lentamente iniziamo a soffiare libertà
un pezzo alla volta
spalmiamo il piede sinistro,
poi la gamba...
salgo, e mi sorprendo istintivo
nel correggere la stonatura nelle spalle...
non so, scopro una naturalità nuova
mi viene un sorriso di piacere
e sorrido...
e le geometrie prendono forma
condotte da un'armonia evocatrice
si compone bella e rassicurante
una nuova stanza dentro me
e già è riferimento per tutto il corpo
cadono le braccia
affondano liberi i piedi nel pavimento

V. (*il terapista*) porta la mia gamba ora avanti
ora dietro
in poco tempo mi raggiunge,
ci raggiunge, dentro la gamba
e si confonde in questa sintonia
ascolto in silenzio la gamba scorrere leggera
la voce serena, è naturale così
e non mi chiede d'esser aiutata
l'ascolto scorrere in questo nuovo livello d'intimità
sento d'esser rimasto solo in compagnia di questa serenità
e afferro il mio movimento

Ictus, tactus (phasis)

Il primo incontro riabilitativo con il supporto sonoro non ha luogo per un improvviso impegno del riabilitatore, io e F.B. ne approfittiamo per conoscerci dal momento che la struttura e l'organizzazione delle terapie non concedono spazi e opportunità per un incontro diretto.

È lui a suggerire alcuni brani da utilizzare, cosa che viene attuata nelle sedute successive applicata a esercizi semplici, in cui si rileva un supporto in precedenza non esperito e quindi la positività dell'intervento. Successivamente però, la complessità del compito descritto in *E mi immergo* si rivela ancora ostica e la musica scelta non ne facilita l'esecuzione. In questo contesto viene proposto un nuovo brano su cui basare l'ascolto percettivo somestesico, *Farmer's trust* (Pat Metheny, 1983). Il brano ha un carattere riflessivo ed è stato utilizzato come colonna sonora in *Fandango* (1985), nella scena finale del film, la cui inquadratura riprende dall'alto la piazza del paese, illuminata dalle prime luci dell'alba, e il progressivo spegnimento delle luminarie.



Nello *spazio di amalgama concettuale* (Fauconnier e Turner, 2001) che si è venuto a creare con F.B., le note della melodia (il tema presenta note lunghe che sottolineano la pulsazione ritmica) costituiscono i punti che devono essere ricercati per andare a costituire lo spazio geometrico desiderato, la simmetria necessaria alla corretta impostazione della struttura corporea e la conseguente percezione di armonia ed equilibrio. L'amalgama non è frutto di una spontanea conseguenza all'ascolto, è stato costruito sull'immagine di una sequenza di punti luminosi che si vanno accendendo uno alla volta, e come tale è stata accolta e positivamente riscontrata.

Si coglie ora quanto descritto da Dehaene e coll. (2014) a proposito della tendenza di cogliere la struttura gerarchica degli stimoli e riassumerla secondo il principio di descrizione minima. Tale effetto può essere riscontrato già a livello di composizione poetica, con la prima poesia lunga quasi il doppio rispetto alla seconda, quasi non ci fossero abbastanza parole per comunicare difficoltà e disagio. A livello esplicito sono sufficienti l'elenco completo dei punti da cercare, ben 29 prima, per fermarsi successivamente quasi subito (solo 3), sintetizzando il risultato con "*e le geometrie prendono forma / condotte da un'armonia evocatrice*".

In questo luogo, in questo contesto, la musica è un artefatto a cui fare riferimento per programmare l'azione secondo il criterio di esternalizzazione del pensiero, meccanismo di funzionamento mentale comune ad artefatti, arte, linguaggio, letteratura. Hutchins (2005) definisce "àncore materiali per miscele concettuali" i vincoli reciproci esistenti tra organizzazione del pensiero mentale e struttura materiale, come ad esempio può essere il "metodo dei loci", utilizzato da Cicerone per ricordare la giusta sequenza di parti del discorso correlando ogni punto a una successione di luoghi conosciuti, o ancora, le *songlines* degli aborigeni australiani, i quali utilizza(va)no i canti per spostarsi e orientarsi nel loro territorio in assenza di strumenti e mappe. Buzsaki (2019) attribuisce a questa capacità di esternalizzazione del pensiero la particolare relazione tra memoria episodica e semantica negli esseri umani, una estensione del circolo di azione-percezione assai diversa rispetto ad altre specie animali.

In questo spazio comune di blending concettuale, è possibile comprendere il continuum tra lessico, morfologia e semantica della grammatica cognitiva proposta da Langacker (2008), e quindi estendere il continuum ad ogni forma di percetto strutturato (linguaggio simbolico) per confluire nella *forma-pensiero*, da cui, di riflesso (per simmetria), il significato emerge.

Un altro aspetto degno di nota è come la memoria venga plasmata dalle necessità contestuali: l'immagine della piazza è stata proposta come rinvenuta alla memoria, non adattata all'utilizzo del momento; a distanza di anni ho potuto constatare quanto differisse nella descrizione, con una vista indiretta in terza persona a conclusione dell'evento anziché durante i preparativi. Nel contesto terapeutico il brano è stato proposto come l'immagine di un contesto emotivo caratterizzato dalla serenità ed

eccitazione di una festa di paese, una piazza che al tramonto prende vita e si illumina con lunghi filamenti di luci a delineanearne il contorno: all'interno della terapia la traiettoria è costruttiva mentre a scena cinematografica propone l'andamento inverso.

All'interno della dinamica relazionale, F.B. è in "accoppiamento funzionale" con le due figure che provvedono alla sua riabilitazione, come richiamato nei versi "*in poco tempo mi raggiunge, / ci raggiunge, dentro la gamba / e si confonde in questa sintonia*", sebbene il riabilitatore sia il diretto responsabile e parte attiva del trattamento mentre il musicoterapista svolge un ruolo di supporto a margine.

Il colpo, divenuto ripetizione ciclica, si è fatto ritmo.

Parte quinta

Ripetizione, figura, sfondo

"*Ben presto riuscii a convincere lui (Chomsky N.) e i suoi discepoli che la legge di Zipf era alla base di una componente del discorso importante e simile alla fisica (alla termodinamica), mentre la grammatica è una sorta di chimica o algebra di una lingua*".
(Mandelbrot B.B., *La formula della bellezza*. Rizzoli 2014)

Il ruolo della ripetizione linguistica: discussione

Secondo la prospettiva fin qui adottata, il ruolo della ripetizione nel dominio linguistico riflette il meccanismo del funzionamento biologico e in tale contesto va letto e interpretato. Ogni relazione nell'organizzazione vivente si struttura secondo schemi di simmetria, analogia e MDL (Dehaene et al., 2022): il Sistema Immunitario Adattivo (SIA) come metafora del concetto di metacognizione ne è un esempio (Sanchez-Ramon e Faure, 2020), come pure gli schemi di apprendimento attivati dal sistema dei neuroni specchio (Rizzolatti, Craighero, 2004), fino ad arrivare alla produzione di artefatti come la blockchain della moneta digitale, il cui codice è sviluppato sulla crittografia *self*/*non-self* del SIA (Markose, 2022).

A questo punto, l'evidenza delle dinamiche fin qui presentate condiziona la ripetizione linguistica a una duplice interpretazione del fenomeno, una sorta di interpretazione di Copenaghen in cui linguistica cognitiva, onda, e linguistica formale, particella, costituiscono le due polarità interpretative di un fenomeno allo stesso tempo logico e analogico.

Un esempio di questa "ambiguità" funzionale può essere rappresentato dalla natura sillabica, interpretata come *chunk* (spezzone) fonologico oppure come struttura fonemica composta da uno schema di successioni di consonanti (C) e vocali (V): mentre *cat* (/kaet/) e *dog* (/dɔg/) condividono la medesima struttura secondo lo schema CVC (codifica MDL), la percezione fonologica discrimina i due stimoli come *chunks* separati. I due aspetti coesistono e coinvolgono distinti processi di acquisizione e produzione del linguaggio, dove "*la struttura sillabica astratta sembra essere parte delle informazioni rappresentate nella produzione on-line, in cui le informazioni*

relative allo schema potrebbero essere utilizzate per il recupero della parola nel discorso" (Sevald et al., 1995).

Gastaldon e colleghi (2024) hanno compiuto un importante lavoro di revisione e indagine nella relazione esistente tra processi predittivi e processi di produzione del linguaggio, la cui ricorsività consente una chiave interpretativa della variabilità interindividuale attraverso fattori come fluidità categoriale, negli adulti, ed estensione del vocabolario di produzione, nei bambini.

L'acquisizione delle abilità linguistiche avviene secondo meccanismi sostanzialmente immutati nel corso della traiettoria evolutiva, con la progressiva lateralizzazione emisferica dei circuiti neurali specifici per il linguaggio rispetto l'attivazione estesa presente in entrambi gli emisferi al momento della nascita, e la riduzione dei tempi di latenza e durata dei potenziali evocati correlati ai processi lessicali-semantici, N400, sintattici, E/LAN (Event Left Anterior Negativity) e P600, e prosodici, CPS (Closure Positive Shift), seguendo un percorso evolutivo graduale, dai 3 mesi all'età adulta (Friederici, 2005).

Un possibile punto di partenza per lo studio della ripetizione è costituito dal processo di acquisizione del linguaggio, un ambito di ricerca che ha introdotto nuovi spunti interpretativi integrando le precedenti teorie innatiste (Chomsky) con le teorie empiriste (Christiansen e Chater, 2016), dove queste ultime sostengono che per l'apprendimento siano sufficienti le informazioni presenti nell'ambiente e nel segnale linguistico, senza la necessità di supporre specifici meccanismi innati.

Gervain (2020) osserva come l'interazione con l'ambiente circostante condizioni l'espressione genica e la maturazione neurale necessaria alla discriminazione linguistica, fattore in grado di spiegare i dati sperimentali più recenti e operando di fatto una sintesi tra innatismo ed empirismo. L'esperienza uditiva del linguaggio inizia nel ventre materno intorno alle 26 settimane di gestazione con la capacità di discriminare le qualità prosodiche del parlato, ovvero ritmo e melodia, e l'apprendimento di alcuni suoni vocali in virtù di schemi ritmici più marcati rispetto alle consonanti. Già alla nascita i bambini possono distinguere i suoni linguistici da suoni altrettanto complessi – abilità riscontrata anche nei mammiferi, a supporto dell'idea che la percezione fonemica possa essere un meccanismo uditivo di base –, con una maturazione percettiva tale da

apprendere qualsiasi lingua alla quale siano esposti. Inoltre, i neonati hanno anche la capacità di riconoscere schemi strutturali basati sulla ripetizione fonemica distinguendo strutture come ABB ("mu ba ba") da AAB ("ba ba mu") o casuali come ABC ("mu ba ge" o "pe na ku") (Gervain et al., 2008).

Relativamente all'esposizione linguistica, Mampe e colleghi (2009) hanno riscontrato come il pianto dei neonati tedeschi e francesi sia modellato sullo schema ritmico delle rispettive lingue, con una accentuazione iniziale del pianto caratteristica del tedesco (es.: sturm und drang) rispetto all'accentuazione finale del pianto tipica della lingua francese (es.: oui, je suis).

La sintonizzazione con la lingua madre si realizza nel periodo compreso tra il 4° mese e l'anno di vita, intervallo in cui il bambino impara a discriminare i suoni del proprio dominio linguistico – fonemi e toni lessicali – ma al contempo perde la capacità distintiva di fonemi estranei, un apprendimento che si ritiene fondato su ripetizione e familiarità dei fonemi, struttura ritmica delle sillabe e costanti fonotattiche caratterizzanti il parlato. È un dato acquisito che sintonizzazione fonemica e acquisizione lessicale siano due processi ricorsivi e mutualmente proattivi (Yeung e Werker, 2009). Durante il periodo di sintonizzazione linguistica, l'attivazione neurale relativa alla discriminazione fonemica subisce una progressiva lateralizzazione nell'emisfero sinistro mentre l'attivazione relativa alla prosodia viene lateralizzata nell'emisfero destro (Minagawa-Kawai et al., 2011). Queste evidenze sono coerenti con la sintassi neurale proposta da Buzsáki (2019), la cui generazione si basa su assemblaggi neurali presenti già alla nascita, successivamente riassegnati e modificati in funzione delle interazioni con l'ambiente.

L'apprendimento di fonemi e prosodia costituisce il punto di partenza per l'acquisizione della capacità di segmentazione della lingua madre che inizia già a 4 mesi con il riconoscimento del proprio nome, prosegue con una preferenza per l'ascolto di brani contententi parole familiari verso i 7 mesi, e ampliare successivamente il repertorio di riconoscimento di vocaboli in base a regolarità statistiche e indizi contestuali come la co-occorrenza di fonemi (o sillabe) o la presenza di funtori. Accentazione ed informazioni statistiche sono utilizzate in modo diverso durante il percorso evolutivo: mentre a 6 mesi i bambini si affidano preferibilimente ad indizi

statistici, a 9 mesi l'accentazione costituisce un fattore maggiormente significativo, indicando in questo modo il passaggio da una strategia di apprendimento universale a un'altra più specificamente linguistica. L'acquisizione di parole e significato non avviene mediante processi separati ma anche questo passaggio procede attraverso un processo di acquisizione circolare, in cui la relazione tra aspetto fonologico, significato e memoria si consolida attraverso la ricorsività delle connessioni esperite (Werker e Yeung, 2005).

La teoria del bootstrap prosodico (Nespor e Vogel, 1983; Nespor, 1990; Gervain e Werker, 2013) indica la capacità discriminatoria *innata* relativa a ritmo e intonazione dei suoni come il candidato ideale per la successiva capacità di acquisizione della grammatica, un meccanismo affidabile per il riconoscimento della struttura sintattica conseguente al fatto che "la posizione e la realizzazione acustica della prominenza prosodica a livello di sintagma covariano con l'ordine delle parole" (Gervain, 2020). Sillabe, parole e frasi vengono quindi acquisite, processate e prodotte secondo meccanismi già disponibili al SNC e una specializzazione emisferica legata all'esperienza.

Quanto visto per il linguaggio nativo può essere esteso al linguaggio musicale, con l'analogia citata da Buzsáki (2019) tra ritmi cerebrali e struttura ritmica dei tāla (Srinivasamurthy et al., 2012). Nella musica classica indiana il percorso formativo dei suonatori di tablā avviene attraverso la ripetizione di sillabe onomatopeiche, associate in modo tale da riprodurre suoni e ritmi dello strumento. Prima di accedere allo strumento il praticante deve essere in grado di padroneggiare suoni e ritmi a livello linguistico (per un esempio: https://www.youtube.com/watch?v=K1Q9QgFyJjw).

La ricerca di una struttura (di una Gestalt) in relazione allo stimolo percettivo è un meccanismo di funzionamento di base del SNC, o per utilizzare l'espressione di Maturana e Varela, *la struttura emerge in funzione dei vincoli imposti dalla chiusura operativa*. Anche in questo caso la struttura si evidenza attraverso la ripetizione di parole, frasi o parti di un discorso. Nel linguaggio musicale il tema di una composizione viene ripetuto più volte per dare la possibilità all'ascoltatore di assimilarne la melodia mentre la ripetizione di parti più ampie ne suddivide l'esecuzione: nel periodo classico la struttura compositiva ha trovato in Mozart la definizione formale con la struttura

bitematica e tripartita, con l'esecuzione di un primo e un secondo tema, a conclusione dei quali segue una parte di sviluppo tematico per poi concludere con la ripresa degli stessi. Nell'arte, solo a titolo di esempio, gli studiosi si sono interrogati a lungo relativamente al fascino suscitato dalla pittura astratta di Jackson Pollock (1912-1956), una pittura caotica priva di forme o soggetti, per poi riscontrare nell'apparente assenza di struttura *una ricorsività di elementi frattali*, il principio organizzativo alla base di ogni espressione in Natura (Mandelbrot, 2014). La familiarità suscitata dal disordine del dipinto si colloca a livello percettivo nella ripetizione del medesimo pattern – individuabile *sub limine* a diversi gradi di ingrandimento o riduzione –, percezione sufficiente per attribuire alla tela la sensazione di "ordine" e gradevolezza.

L'analogia è il meccanismo che rende possibile questo passaggio, tanto a livello gerarchico sotto/sovraordinato quanto nel salto di categoria (dominio). "L'astronave Cuore d'Oro è dotata di un Motore a Improbabilità Infinita" (Adams, 1980) è una frase priva di senso se limitata all'aspetto lessicale, acquista significato una volta considerata cognitivamente come spazio mentale di miscela concettuale (Faucunnier e Turner, 2001). Con una lunghezza inferiore alla riga viene espresso in modo ridondante il concetto che un *cuore d'oro*, simbolico di un *agire* senza interesse e caratteristico di un numero ristretto di individui, possa caratterizzare il moto di una astronave, il cui propulsore consente un movimento, un agire, da infinitamente improbabile, in cui tutto è possibile, ad assolutamente probabile, in cui ad azione *x* corrisponde la reazione *y*. In un'altro punto del racconto di Adams, viene posta al Supercomputer *Deep Thought*, appositamente costruito, la "domanda fondamentale sulla Vita, sull'Universo e su tutto quanto", la cui risposta, dopo 7 milioni e mezzo di anni, è "42".

Il motivo di questa citazione è che molte intelligenze si sono prodigate nella ricerca di una motivazione plausibile a questa risposta (l'Autore non ha mai fornito una giustificazione, se non "è la prima cosa che mi sia venuta in mente") e 42 è diventato simbolico per problemi di complessa e lunga elaborazione: https://news.mit.edu/2019/answer-life-universe-and-everything-sum-three-cubes-mathematics-0910.

La spiegazione più plausibile, a mio parere, parte dal considerare 42 come la somma di due parti simmetriche e speculari, 21 e 21, con il 21 simbolico della

ventunesima lettera dell'alfabeto greco *phi*, simbolo a sua volta utilizzato per rappresentare il numero 1,618… ovvero la sezione aurea, ovvero lo schema d'elezione per ogni forma presente in natura, ovvero analogia, simmetria e principio di descrizione minima.

L'esame delle varie forme espressive, linguistiche e non, secondo i parametri presentati, dovrebbe rendere a questo punto possibile la corretta analisi formale della ripetizione – presente nei vari domini dell'agire umano – e la corretta interpretazione del significato correlato.

Conclusioni

Il percorso delineato dagli argomenti trattati rappresenta l'evoluzione del concetto di autopoiesi dalla sua fase embrionale ad oggi, sulla base di una definizione di cognizione emergente in conseguenza alla circolarità, ricorsività o ripetizione dei cicli biologici.

Già nella prima formulazione della teoria autopoietica è presente l'idea che l'attività neurale rappresenti il punto d'elezione per una corretta interpretazione fenomenologica: forme di espressione come "*parlare, camminare, o fare della musica non differiscono nella natura dei processi neuronali coordinati che li specificano ma nei sottodomini di interazioni nei quali acquisiscono la loro rilevanza.*" (Maturana, 1970).

Questo approccio è stato ripreso recentemente da Fitch (2014), sollecitando un framework di ricerca che integri biologia comparata, linguistica formale e modelli computazionali in grado di simulare il comportamento del neurone singolo, ritenuto capace di calcoli ed elaborazioni a livello del network neurale del SNC.

Buzsáki (2006, 2019) ha adottato un analogo approccio allo studio del SNC, proponendo una interpretazione basata sulla sincronia dei cicli neurali, volta a spiegare le interazioni tra SNC, corpo e ambiente come azioni promosse dal SNC stesso, in opposizione al paradigma tradizionale che legge l'attività cerebrale in risposta a uno stimolo esterno.

Si è ritenuto opportuno privilegiare una trattazione di carattere generale rispetto allo studio specifico del dominio linguistico, finalizzato alla comprensione dei punti di connessione sia tra funzioni di domini distinti, ad esempio le analogie tra sistema immunitario e SNC, che la medesima funzione operante su livelli gerarchici distinti, fisici e/o computazionali, come il rapporto tra singolo neurone e rete di attivazione globale del SNC.

L'etimologia di simbolo e il suo ruolo caratterizzante nella linguistica cognitiva stabilisce un rapporto diretto tra dominio linguistico e dominio percettivo, indicando come ogni interazione tra sistemi comporti una interpretazione del dato sensoriale non univoca. La relazione tra linguistica cognitiva (rappresentazione percettiva) e linguistica generativa innatista (rappresentazione oggettiva) ha una natura complementare analoga alla relazione in essere tra dato soggettivo, *la parte difficile del problema (della coscienza)*, e dato oggettivo, problema descritto da Varela come "*not one, not two*", una

separazione artificiosa che non consente di accedere a un'interpretazione esaustiva del dato fenomenologico.

La modellazione computazionale costituisce il ponte formale tra costrutti psicologici teorici e simulazione di meccanismi di funzionamento del SNC, un comune denominatore che permette la formulazione di nuove ipotesi e teorie, tali da connettere aree di ricerca concettualmente distinte.

L'elemento in comune tra gli argomenti discussi è la ripetizione, in forma di sinonimo o di analogia, condizione sufficiente a delinearne il *trajector*, la direzione da intraprendere per l'esplorazione dello spazio concettuale.

Buzsáki (2019) esprime le sue perplessità in relazione al fatto che ancora oggi "*I principi della psicologia*" di James (1890) e i concetti da lui formulati costituiscano il riferimento per buona parte della ricerca neuroscientifica attuale, un'impostazione che vincola l'interpretazione dei dati raccolti a costrutti teorici non applicabili al SNC.

Questa prospettiva è ancora prominente a livello didattico, forse sarebbe auspicabile l'integrazione dei due approcci come rappresentazioni complementari del medesimo fenomeno. Tra le varie possibilità, il dominio linguistico può costituire un'area di ricerca efficace e in grado di fornire argomenti e suggestioni utili a promuovere l'auspicabile cambio di direzione.

Riferimenti bibliografici

Adams D. (1980). *Guida Galattica per Autostoppisti*. Urania n. 843, Mondadori

Aitchison L., Lengyel M. (2017). With or without you: Predictive coding and Bayesian inference in the brain. *Current Opinion in Neurobiology, 46:219–227.*

Alm A. (2021) - The Dopamine System and Automatization of Movement Sequences: A Review With Relevance for Speech and Stuttering. *Front. Hum. Neurosci., 02 December 2021 Sec. Speech and Language Volume 15 - 2021*

Anokhin P.K. (1975). *Biologia e riflessologia del riflesso condizionato*. Roma: Bulzoni.

Austin, J. L. (1975). *How to do things with words.* Harvard university press.

Battaglia S., Servajean P., Friston K.J. (2025). The paradox of the self-studying brain. *Physics of Life Reviews 52 (2025), 197-204.*

Bonardi G. (2017). *Ascoltazione*. StreetLib

Bray, D. (2009). *Wetware: a computer in every living cell*. New Haven, CT: Yale University Press.

Brownlee, Jason (2007). Cognition, immunology and the cognitive paradigm. *Swinburne. Report*. https://doi.org/10.25916/sut.26263448.v1

Buzsáki G. (2006). *Rhythms of the brain.* Oxford University Press

Buzsáki G. (2019). *The brain from inside-out.* Oxford University Press

Buzsáki, G., McKenzie, S., & Davachi, L. (2022). Neurophysiology of remembering. *Annual review of psychology*, *73*(1), 187-215.

Carli G. (2004). *Una proposta di riabilitazione cognitivo-emotiva nel trattamento dell'emiplegico*. CEP Assisi, 2004

Chiel, H. J., & Beer, R. D. (1997). The brain has a body: adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment. *Trends in neurosciences*, *20*(12), 553-557.

Choi, J. H., Sim, S. E., Kim, J. I., Choi, D. I., Oh, J., Ye, S., ... & Kaang, B. K. (2018). Interregional synaptic maps among engram cells underlie memory formation. *Science*, *360*(6387), 430-435.

Chomsky, N., & De Palma, A. (1970). *La grammatica generativa trasformazionale*. Boringhieri.

Christiansen, M. H., & Chater, N. (2016). The now-or-never bottleneck: A fundamental constraint on language. *Behavioral and brain sciences*, *39*, e62.

Christiansen M.H., Chater N. (2023). *Il gioco del linguaggio.* Ponte alle Grazie, 2023.

Cohen, I. R. (1989). Natural id-anti-id networks and the immunological homunculus. In *Theories of immune networks* (pp. 6-12). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Cohen, I. R. (1995). Language, meaning and the immune system. *Isr. J. Med. Sci*, *31*, 36.

Cohen, I. R. (2000, June). Discrimination and dialogue in the immune system. In *Seminars in immunology* (Vol. 12, No. 3, pp. 215-219). Academic Press.

Cohen, I. R., Hershberg, U., & Solomon, S. (2004). Antigen-receptor degeneracy and immunological paradigms. *Molecular immunology*, *40*(14-15), 993-996.

Cohen, I. R., & Young, D. B. (1991). Autoimmunity, microbial immunity and the immunological homunculus. *Immunology today*, *12*(4), 105-110.

Colli G. (1969). *Filosofia dell'espressione.* Adelphi

Couchman, J. J., Boomer, J., Coutinho, M. V., & Smith, J. D. (2010). Carving nature at its joints using a knife called concepts. *The Behavioral and brain sciences*, *33*, 207.

Coutinho, A., Forni, L., Holmberg, D., Ivars, F., & Vaz, N. (1984). From an antigen-centered, clonal perspective of immune responses to an organism-centered, network perspective of autonomous activity in a self-referential immune system. *Immunological Reviews*, *79*(1), 151-168.

Crapse, T. B., & Sommer, M. A. (2012). Frontal eye field neurons assess visual stability across saccades. *Journal of Neuroscience*, *32*(8), 2835-2845.

Cruse, H. (2003). The evolution of cognition—a hypothesis. *Cognitive Science*, *27*(1), 135-155.

Curcio, C. A., & Allen, K. A. (1990). Topography of ganglion cells in human retina. *Journal of comparative Neurology*, *300*(1), 5-25.

Dehaene S. (2014). *Coscienza e Cervello. Come i neuroni codificano il pensiero.* Raffaello Cortina Editore

Dehaene, S., Al Roumi, F., Lakretz, Y., Planton, S., & Sablé-Meyer, M. (2022). Symbols and mental programs: a hypothesis about human singularity. *Trends in Cognitive Sciences*, *26*(9), 751-766.

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, *70*(2), 200-227.

Dehaene, S., Kerszberg, M., & Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, *95*(24), 14529-14534.

Depraz, N., Varela, F. J., & Vermersch, P. (2000). The gesture of awareness. An account of its structural dynamics in M. Velmans, a cura di, Investigating Phenomenal Consciousness.

Di Giuseppe R. (2021). Giorgio Colli e la filosofia della relazione. L'espressione è la sostanza del mondo. IX-XI. doi: hal-04121320

Fauconnier G., Turner M. (2001). *Amalgami. Introduzione ai network di integrazione concettuale.* Quattroventi Editore.

Fields, C., Glazebrook, J. F., & Levin, M. (2024). Principled limitations on self-representation for generic physical systems. *Entropy*, *26*(3), 194.

Fitch, W. T. (2008). Nano-intentionality: a defense of intrinsic intentionality. *Biology & Philosophy*, *23*, 157-177.

Fitch, W. T. (2014). Toward a computational framework for cognitive biology: Unifying approaches from cognitive neuroscience and comparative cognition. *Physics of life reviews*, *11*(3), 329-364.

Fitch, W. T. (2023). Cellular computation and cognition. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *17*, 1107876.

Friederici, A. D. (2005). Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *Trends in cognitive sciences*, *9*(10), 481-488.

Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory?. *Nature reviews neuroscience*, *11*(2), 127-138.

Gadagkar, V., Puzerey, P. A., Chen, R., Baird-Daniel, E., Farhang, A. R., & Goldberg, J. H. (2016). Dopamine neurons encode performance error in singing birds. *Science*, *354*(6317), 1278-1282.

Gastaldon, S., Bonfiglio, N., Vespignani, F., & Peressotti, F. (2024). Predictive language processing: integrating comprehension and production, and what atypical populations can tell us. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1369177.

Gazzaniga, M. S., & Sperry, R. W. (1967). Language after section of the cerebral commissures. *Brain*, *90*(1), 131-148.

Gershman, S. J., & Niv, Y. (2010). Learning latent structure: carving nature at its joints. *Current opinion in neurobiology*, *20*(2), 251-256.

Gervain, J. (2020). Typical language development. In *Handbook of clinical neurology* (Vol. 173, pp. 171-183). Elsevier.

Gervain, J., Macagno, F., Cogoi, S., Peña, M., & Mehler, J. (2008). The neonate brain detects speech structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(37), 14222-14227.

Gervain, J., & Werker, J. F. (2013). Prosody cues word order in 7-month-old bilingual infants. *Nature communications*, *4*(1), 1490.

Geschwind, N. (1964). *The development of the brain and the evolution of language.* Georgetown University Press, pagg. 155-169]

Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and brain sciences*, *27*(3), 377-396.

Hameroff, S., & Penrose, R. (2014). Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR'theory. *Physics of life reviews*, *11*(1), 39-78.

Han, Y., Kebschull, J. M., Campbell, R. A., Cowan, D., Imhof, F., Zador, A. M., & Mrsic-Flogel, T. D. (2018). The logic of single-cell projections from visual cortex. *Nature*, *556*(7699), 51-56.

Harris, J. A., Mihalas, S., Hirokawa, K. E., Whitesell, J. D., Knox, J. E., Bernard, A., ... & Zeng, H. (2018). The organization of intracortical connections by layer and cell class in the mouse brain. *BioRxiv*, 292961.

Heidegger M. (1927; 2002). *Time and Being.* Translated by Joan Stambaugh. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Hernandez Vasquez, M. N., Ulvmar, M. H., González-Loyola, A., Kritikos, I., Sun, Y., He, L., ... & Mäkinen, T. (2021). Transcription factor FOXP2 is a flow-induced regulator of collecting lymphatic vessels. *The EMBO Journal*, *40*(12), e107192.

Herz, A. V., Gollisch, T., Machens, C. K., & Jaeger, D. (2006). Modeling single-neuron dynamics and computations: a balance of detail and abstraction. *science*, *314*(5796), 80-85.

Hunt, T., & Schooler, J. W. (2019). The easy part of the hard problem: a resonance theory of consciousness. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 447026.

Hutchins, E. (2005). Material anchors for conceptual blends. *Journal of pragmatics*, *37*(10), 1555-1577.

James W. (1890). *The Principles of Psychology, Volumes I and II.* New York: Dover.

Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current opinion in neurobiology*, *9*(6), 735-739.

Jerne, N. K. (1974). Towards a network theory of the immune system. *Ann. Immunol. (Inst. Pasteur), C*, *125*, 373-389.

Jerne, N. K. (1955). The natural-selection theory of antibody formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *41*(11), 849-857.

Klein, J. (1982). Immunology: The science of self-nonself discrimination. In *Immunology: the science of self-nonself discrimination* (pp. 687-687).

Kohler W. (1917; 2009). *L'intelligenza nelle scimmie antropoidi.* Giunti, 2009

Konnakol. https://www.youtube.com/watch?v=K1Q9QgFyJjw

Krauzlis, R. J., Bollimunta, A., Arcizet, F., & Wang, L. (2014). Attention as an effect not a cause. *Trends in cognitive sciences*, *18*(9), 457-464.

Lamme, V. A., Super, H., & Spekreijse, H. (1998). Feedforward, horizontal, and feedback processing in the visual cortex. *Current opinion in neurobiology*, *8*(4), 529-535.

Langacker Ronald (2008). *Cognitive Grammar: A Basic Introduction.* Oxford University Press.

Le Van Quyen, M. (2003). Disentangling the dynamic core: a research program for a neurodynamics at the large-scale. *Biological research*, *36*(1), 67-88.

Llinás R (2002) *I of the Vortex: From Neurons to Self.* Cambridge, MA: MIT Press.

Louie, A. H. (2010). Robert Rosen's anticipatory systems. *Foresight*, *12*(3), 18-29.

Lutz, A., Abdoun, O., Dor-Ziderman, Y., Trautwein, F. M., & Berkovich-Ohana, A. (2024). An overview of neurophenomenological approaches to meditation and their relevance to clinical research. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*.

Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current biology*, *19*(23), 1994-1997.

Mandelbrot B.B. (2014). *La formula della bellezza. La mia vita da vagabondo della scienza.* Rizzoli.

Marder, E., & Goaillard, J. M. (2006). Variability, compensation and homeostasis in neuron and network function. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(7), 563-574.

Markose, S. M. (2022). Complexification of eukaryote phenotype: Adaptive immuno-cognitive systems as unique Gödelian blockchain distributed ledger. *Biosystems*, *220*, 104718.

Marr D. (1982). *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information.* WH San Francisco: Freeman and Company.

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature reviews neuroscience*, *5*(3), 229-240.

Matejuk, A., Vandenbark, A. A., & Offner, H. (2021). Cross-talk of the CNS with immune cells and functions in health and disease. *Frontiers in neurology*, *12*, 672455.

Maturana, H. R., Uribe, G., & Frenk, S. (1968). A biological theory of relativistic colour coding in the primate retina. *Archivos de biologia y medicina experimentales*, *1*, 1-30.

Maturana, H. (1970). *Biology of cognition* (Vol. 9). Urbana: Biological Computer Laboratory, Department of Electrical Engineering, University of Illinois.

Maturana, H.R., Varela, F.J. (1973, 2012). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living* (Vol. 42). Springer Science & Business Media.

Maturana H.R., Varela F.J. (1985). *Autopoiesi e cognizione. La realizzazione del vivente.* Marsilio Editore.

Maverakis, E., van den Elzen, P., & Sercarz, E. E. (2001). Self-reactive T cells and degeneracy of T cell recognition: evolving concepts—from sequence homology to shape mimicry and TCR flexibility. *Journal of Autoimmunity*, *16*(3), 201-209.

Burnet, S. F. M. (1959). *The clonal selection theory of acquired immunity* (Vol. 3). Nashville: Vanderbilt University Press.

Merleau-Ponty M. (1945; 2005). *Phenomenology of Perception* (Smith C., translator). London: Routledge.

Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain: a journal of neurology*, *121*(6), 1013-1052.

Michelsen, A., Popov, A. V., & Lewis, B. (1994). Physics of directional hearing in the cricket Gryllus bimaculatus. *Journal of Comparative Physiology A*, *175*, 153-164.

Middlebrooks, P. G., & Sommer, M. A. (2011). Metacognition in monkeys during an oculomotor task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(2), 325.

Miller S. (2019). The answer to life, the universe, and everything. Mit News. https://news.mit.edu/2019/answer-life-universe-and-everything-sum-three-cubes-mathematics-0910

Minagawa-Kawai, Y., Cristià, A., & Dupoux, E. (2011). Cerebral lateralization and early speech acquisition: A developmental scenario. *Developmental cognitive neuroscience*, *1*(3), 217-232.

Moser, E. I., Kropff, E., & Moser, M. B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system. *Annu. Rev. Neurosci.*, *31*(1), 69-89.

Nagel T. (1974) – What is it like to be a bat? *The philosophical review,* Vol. 83, N. 4 (Oct., 1974), pp. 435-450.

Nespor, M. (1990). On the rhythm parameter in phonology. *Logical issues in language acquisition*, 157-175.

Nespor, M., & Vogel, I. (1983). Prosodic structure above the word. In *Prosody: Models and measurements* (pp. 123-140). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Northoff, G., & Ventura, B. (2025). Bridging the gap of brain and experience–Converging Neurophenomenology with Spatiotemporal Neuroscience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 106139.

Nudo, R. J., Milliken, G. W., Jenkins, W. M., & Merzenich, M. M. (1996). Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *The Journal of neuroscience*, *16*(2), 785.

O'Keefe, J., & Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map: preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain research*.

Olivares, F. A., Vargas, E., Fuentes, C., Martínez-Pernía, D., & Canales-Johnson, A. (2015). Neurophenomenology revisited: second-person methods for the study of human consciousness. *Frontiers in psychology*, *6*, 673.

Panksepp J. (1998). *Affective neuroscience: the foundation of human and animal emotions.* Oxford University Press, New York.

Panksepp, J. (2011). The basic emotional circuits of mammalian brains: do animals have affective lives?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*(9), 1791-1804.

Papineau, D. (2002). *Thinking about consciousness*. Clarendon Press.

Partridge, L. D. (1966). Signal-handling characteristics of load-moving skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, *210*(5), 1178-1191.

Perfetti C. (1979). *Rieducazione motoria dell'emiplegico.* Libraio Ghedini Editore

Petreanu, L., Gutnisky, D. A., Huber, D., Xu, N. L., O'Connor, D. H., Tian, L., ... & Svoboda, K. (2012). Activity in motor–sensory projections reveals distributed coding in somatosensation. *Nature*, *489*(7415), 299-303.

Platone (1998). *Fedro.* Economica Laterza.

Pöppel, E., & Bao, Y. (2012). The visual field paradox: A theoretical account on the reafference principle providing a common frame for the homogeneity and inhomogeneity of visual representation. *Cognitive Processing*, *13*, 285-287.

Qin, P., Wang, M., & Northoff, G. (2020). Linking bodily, environmental and mental states in the self—A three-level model based on a meta-analysis. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, *115*, 77-95.

Rao, R. P., & Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature neuroscience*, *2*(1), 79-87.

Riggs, L. A., Ratliff, F., Cornsweet, J. C., & Cornsweet, T. N. (1953). The disappearance of steadily fixated visual test objects. *Journal of the Optical Society of America*, *43*(6), 495-501.

Rizzolatti G. e Sinigaglia C. (2006). *So quel che fai.* Milano, Raffello Cortina Editore.

Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, *27*(1), 169-192.

Rosen, R. (1985; 2011). Anticipatory systems. In *Anticipatory systems: Philosophical, mathematical, and methodological foundations* (pp. 313-370). New York, NY: Springer New York.

Rovelli C. (2014). *La realtà non è come ci appare. La struttura elementare delle cose.* Raffaello Cortina Editore.

Rudrauf, D., Lutz, A., Cosmelli, D., Lachaux, J. P., & Le Van Quyen, M. (2003). From autopoiesis to neurophenomenology: Francisco Varela's exploration of the biophysics of being. *Biological research*, *36*(1), 27-65.

Sánchez-Ramón, S., & Faure, F. (2020). Self and the Brain. The Immune Metaphor. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, 540676.

Sandved-Smith, L., Hesp, C., Mattout, J., Friston, K., Lutz, A., & Ramstead, M. J. (2021). Towards a computational phenomenology of mental action: modelling meta-awareness and attentional control with deep parametric active inference. *Neuroscience of consciousness*, *2021*(1), niab018.

Schwartz, M., & Cohen, I. R. (2000). Autoimmunity can benefit self-maintenance. *Immunology today*, *21*(6), 265-268.

Schwartz, M., Moalem, G., Leibowitz-Amit, R., & Cohen, I. R. (1999). Innate and adaptive immune responses can be beneficial for CNS repair. *Trends in neurosciences*, *22*(7), 295-299.

Sevald, C. A., Dell, G. S., & Cole, J. S. (1995). Syllable structure in speech production: Are syllables chunks or schemas?. *Journal of Memory and Language*, *34*(6), 807-820.

Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (2004). What the brain stem tells the frontal cortex. I. Oculomotor signals sent from superior colliculus to frontal eye field via mediodorsal thalamus. *Journal of neurophysiology*, *91*(3), 1381-1402.

Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (2008). Brain circuits for the internal monitoring of movements. *Annu. Rev. Neurosci.*, *31*(1), 317-338.

Sperry, R. W. (1950). Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. *Journal of comparative and physiological psychology*, *43*(6), 482.

Srinivasamurthy, A., Subramanian, S., Tronel, G., & Chordia, P. (2012, July). A beat tracking approach to complete description of rhythm in indian classical music. In *Proc. of the 2nd CompMusic Workshop* (pp. 72-78).

Stanton, G. B., Bruce, C. J., & Goldberg, M. E. (1993). Topography of projections to the frontal lobe from the macaque frontal eye fields. *Journal of Comparative Neurology*, *330*(2), 286-301.

Stern D. (1987). *Il mondo interpersonale del bambino.* Bollati Boringhieri.

Stewart, J. (1993). Cognition without neurones: adaptation, learning and memory in the immune system. *Cognitiva*, *5*(2), 187-202.

Stewart, J., & Varela, F. J. (1989). Exploring the meaning of connectivity in the immune network. *Immunological reviews*, *110*, 37-61.

Stewart, J., & Varela, F. J. (1991). Morphogenesis in shape-space. Elementary meta-dynamics in a model of the immune network. *Journal of theoretical biology*, *153*(4), 477-498.

Stringer, C., Pachitariu, M., Steinmetz, N., Reddy, C. B., Carandini, M., & Harris, K. D. (2019). Spontaneous behaviors drive multidimensional, brainwide activity. *Science*, *364*(6437), eaav7893.

Subramanian, D., Alers, A., & Sommer, M. A. (2019). Corollary discharge for action and cognition. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *4*(9), 782-790.

Summerfield, C., & De Lange, F. P. (2014). Expectation in perceptual decision making: neural and computational mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(11), 745-756.

Sumpter, D. J. (2006). The principles of collective animal behaviour. *Philosophical transactions of the royal society B: Biological Sciences*, *361*(1465), 5-22.

Szentagothai, J., & Arbib, M. A. (1974). Conceptual models of neural organization. *Neurosciences Research Program Bulletin*.

Tononi, G., & Edelman, G. M. (1998). Consciousness and complexity. *science*, *282*(5395), 1846-1851.

Tourville, J. A., & Guenther, F. H. (2011). The DIVA model: A neural theory of speech acquisition and production. *Language and cognitive processes*, *26*(7), 952-981.

Trautwein, F. M., Schweitzer, Y., Dor-Ziderman, Y., Nave, O., Ataria, Y., Fulder, S., & Berkovich-Ohana, A. (2024). Suspending the embodied self in meditation attenuates beta oscillations in the posterior medial cortex. *Journal of Neuroscience*, *44*(26).

Varela, F. J. (1994). A cognitive view of the immune system. *World Futures: Journal of General Evolution*, *42*(1-2), 31-40.

Varela, F. J. (1976). Not one, not two. *Coevolution quarterly*, *12*, 62-67.

Varela F.J. (1979). *Principles of Biological Autonomy.* New York: Elsevier/North-Holland

Varela, F. J. (1995). Resonant cell assemblies: a new approach to cognitive functions and neuronal synchrony. *Biological research*, *28*, 81-81.

Varela, F. J. (1997). The naturalization of phenomenology as the transcendence of nature: Searching for generative mutual constraints. *Alter: Revue de phénoménologie*, *5*.

Varela, F. J. (1999). Steps to a science of inter-being: Unfolding the Dharma implicit in modern cognitive science. *The psychology of awakening*, 71-89.

Varela, F. J. (1991). Organism: A meshwork of selfless selves. In *Organism and the Origins of Self* (pp. 79-107). Dordrecht: Springer Netherlands.

Varela F.J., Coutinho A., Dupire B. & Vaz N.M. (1988). Cognitive networks: immune, neural and otherwise. In: *Theoretical Immunology.* A.S. Perelson Ed., Addison-Wesley, New York, Vol II 359-374.

Varela, F., Lachaux, J. P., Rodriguez, E., & Martinerie, J. (2001). The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nature reviews neuroscience*, *2*(4), 229-239.

Vern, B. A., Leheta, B. J., Juel, V. C., LaGuardia, J., Graupe, P., & Schuette, W. H. (1998). Slow oscillations of cytochrome oxidase redox state and blood volume in unanesthetized cat and rabbit cortex: Interhemispheric synchrony. *Oxygen Transport to Tissue XX*, 561-570.

Vernes, S. C., Oliver, P. L., Spiteri, E., Lockstone, H. E., Puliyadi, R., Taylor, J. M., ... & Fisher, S. E. (2011). Foxp2 regulates gene networks implicated in neurite outgrowth in the developing brain. *PLoS genetics*, *7*(7), e1002145.

von Holst E, Mittelstaedt H. (1950). Das reafferezprincip Wechselwirkungen zwischen Zentralnerven- system und Peripherie. *Naturwissenschaften 37:467– 476*.

Warland, D. K., Reinagel, P., & Meister, M. (1997). Decoding visual information from a population of retinal ganglion cells. *Journal of neurophysiology*, *78*(5), 2336-2350.

Werker, J. F., & Yeung, H. H. (2005). Infant speech perception bootstraps word learning. *Trends in cognitive sciences*, *9*(11), 519-527.

Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, *269*(5232), 1880-1882.

Wurtz, R. H., Basso, M. A., Paré, M.A.R.T.I.N., & Sommer, M. A. (2000). The superior colliculus and the cognitive control of movement. *The new cognitive neurosciences*, 573-587.

Yeung, H. H., & Werker, J. F. (2009). Learning words' sounds before learning how words sound: 9-month-olds use distinct objects as cues to categorize speech information. *Cognition*, *113*(2), 234-243.